



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**EFICIENCIA DE LA CÁSCARA DE PAPA Y LA BORRA DE CAFÉ COMO FLOCULANTE
PARA REMOVER CROMO (III) EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA CURTIEMBRE –
ATE, 2019**

Línea de Investigación:

Ecotoxicología y Química Ambiental

Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Vicuña Rivera, Gianella Yulisa

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

Jurado:

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Ventura Barrera, Carmen Luz

Guillen León, Rogelia

Lima -Perú

2023

Dedicatoria

A Dios forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta, además de concederme al regalo más grande mi familia.

A mis padres Magdalena Rivera y Marco Vicuña quienes fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional y su apoyo incondicional.

A mis hermanos por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida.

Agradecimiento

Mi más profundo agradecimiento a Dios quien con amor me guía, protege y bendice cada día para cumplir mis objetivos personales y profesionales.

A mis padres y hermanos por sus palabras de aliento y confiar en mis decisiones.

A mi asesor de tesis el Mg. Omar Vásquez Aranda por su tiempo, paciencia y disposición en el asesoramiento de la presente investigación.

A mi casa de estudios la Universidad Nacional Federico Villarreal, en especial a todos los docentes por todos los conocimientos compartidos y que han contribuido en mi formación profesional.

Índice

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
Índice.....	4
Índice de Tablas	10
Índice de Figuras.....	13
Resumen.....	17
Abstract.....	18
I. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Descripción y formulación del problema	21
1.1.1. Planteamiento del Problema.....	21
1.1.2. Formulación del Problema	22
1.1.2.1. Problema principal	22
1.1.2.2. Problemas específicos	22
1.2. Antecedentes.....	23
1.2.1. Antecedentes nacionales	23
1.2.2. Antecedentes internacionales	25
1.3. Objetivos.....	28
1.3.1. <i>Objetivo principal</i>	28
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	28

1.4.	Justificación e importancia	28
1.4.1.	<i>Justificación</i>	28
1.4.2.	<i>Importancia</i>	29
1.5.	Hipótesis	30
1.5.1.	<i>Hipótesis general</i>	30
1.5.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	30
II.	MARCO TEÓRICO.....	31
2.1.	Bases teóricas	31
2.1.1.	<i>La actividad curtiembre</i>	31
2.1.1.1.	La actividad curtiembre en el Perú.....	31
2.1.1.2.	Procesos en la Industria Curtiembre.....	32
2.1.1.2.1.	<i>Proceso de curtido por cromo</i>	35
2.1.1.3.	Efluentes de curtiembre.....	35
2.1.2.	<i>Impactos del cromo</i>	37
2.1.2.1.	Impactos del cromo en los ecosistemas.....	37
2.1.2.2.	Impactos de cromo en la salud	37
2.1.3.	<i>Tecnologías para la remoción de metales pesados en medios acuosos</i>	38
2.1.3.1.	Floculación	40
2.1.3.1.1.	<i>Parámetros que afectan la floculación</i>	40
2.1.4.	<i>Floculantes Naturales</i>	41

2.1.4.1.	La cáscara de papa como floculante.....	41
2.1.4.2.	La borra de café como floculante.....	42
III.	MÉTODO.....	43
3.1.	Tipo de investigación.....	43
3.2.	Ámbito temporal y espacial.....	43
3.2.1.	<i>Ámbito temporal</i>	43
3.2.2.	<i>Ámbito espacial</i>	43
3.3.	Variables e Indicadores.....	44
3.4.	Población y muestra.....	45
3.4.1.	<i>Población</i>	45
3.4.2.	<i>Muestra</i>	45
3.5.	Instrumentos.....	45
3.5.1.	<i>Instrumentos y equipos</i>	45
3.6.	Procedimientos.....	46
3.6.1.	<i>Etapa inicial</i>	46
3.6.2.	<i>Etapa intermedia</i>	47
3.6.2.1.	Fase I. Toma y caracterización de la muestra.....	47
3.6.2.1.1.	<i>Colecta de la muestra de agua residual</i>	47
3.6.2.1.2.	<i>Caracterización inicial de la muestra del agua</i>	47
3.6.2.2.	Fase II. Preparación de los floculantes naturales.....	49

3.6.2.2.1. Obtención de la cáscara de papa y borra de café.....	49
3.6.2.2.1.1. Cáscara de papa.....	49
3.6.2.2.1.2. Borra de café	49
3.6.2.3. Fase III. Tratamiento del agua residual de la industria curtiembre.....	50
3.6.2.4. Fase IV. Análisis de muestra tratada.....	50
3.6.2.5. Fase V. Determinación de la eficiencia de remoción.....	54
3.6.2.6. Fase V. Análisis Estadístico	54
3.6.3. Etapa final	54
3.7. Análisis de Datos	57
IV. RESULTADOS.....	58
4.1. Caracterización del efluente de la curtiembre	58
4.2. Determinación de dosis óptima	59
4.2.1. Dosis óptima de la cáscara de papa.....	59
4.2.1.1. Tratamiento 1	60
4.2.1.1.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 1A).....	60
4.2.1.1.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 1B).....	61
4.2.1.1.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 1C).....	63
4.2.1.2. Tratamiento 2	65
4.2.1.2.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 2A).....	66
4.2.1.2.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 2B).....	67

4.2.1.2.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 2C).....	69
4.2.1.3. Tratamiento 3	71
4.2.1.3.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 3A).....	72
4.2.1.3.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 3B).....	73
4.2.1.3.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 3C).....	75
4.2.2. Dosis óptima de la borra de café.....	77
4.2.2.1. Tratamiento 1	78
4.2.2.1.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 1A).....	78
4.2.2.1.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 1B).....	79
4.2.2.1.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 1C).....	81
4.2.2.2. Tratamiento 2	83
4.2.2.2.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 2A).....	84
4.2.2.2.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 2B).....	85
4.2.2.2.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 2C).....	87
4.2.2.3. Tratamiento 3	89
4.2.2.3.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 3A).....	90
4.2.2.3.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 3B).....	91
4.2.2.3.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 3C).....	93
4.3. Comprobación Estadística de los Resultados	96
4.3.1. Eficiencia de la cáscara de papa.....	96

4.3.1.1. Prueba de la Normalidad	100
4.3.1.2. Homogeneidad de Varianzas.....	101
4.3.1.3. Prueba hipótesis DCA.....	102
4.3.1.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey).....	104
4.3.2. <i>Eficiencia de la borra de café</i>	107
4.3.2.1. Prueba de la Normalidad.....	110
4.3.2.2. Homogeneidad de Varianzas.....	112
4.3.2.3. Prueba hipótesis DCA.....	113
4.3.2.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey).....	113
4.3.3. <i>Comparación de la eficiencia de la borra de café y cáscara de papa</i>	117
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	119
VI. CONCLUSIONES	123
VII. RECOMENDACIONES	125
VIII. REFERENCIAS	126
IX. ANEXOS.....	131
9.1. Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	131
9.2. Anexo 2: Panel Fotográfico.....	132

Índice de Tablas

Tabla 1 Número de empresas dedicadas a la industria curtiembre en la ciudad de Lima en el año 2012.....	31
Tabla 2 Características del efluente de curtiembre por etapas.....	36
Tabla 3 Métodos de tratamiento de agua para la eliminación de iones metálicos.....	39
Tabla 4 Operacionalización de variables	44
Tabla 5 Parámetros a evaluar en la muestra de agua residual.....	47
Tabla 6 Cantidades de muestra y reactivos.....	51
Tabla 7 Parámetros del efluente de curtiembre.....	58
Tabla 8 Parámetros del efluente de curtiembre previo al tratamiento con los floculantes	59
Tabla 9 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 1A).....	60
Tabla 10 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 1B).....	62
Tabla 11 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 1C).....	63
Tabla 12 Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 2A).....	66
Tabla 13 Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 2B).....	68
Tabla 14 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 2C).....	69

Tabla 15 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 3A).....	72
Tabla 16 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 3B).....	74
Tabla 17 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 3C).....	75
Tabla 18 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 1A).....	78
Tabla 19 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 1B).....	80
Tabla 20 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 1C).....	81
Tabla 21 Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 2A).....	84
Tabla 22 Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 2B).....	86
Tabla 23 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 2C).....	87
Tabla 24 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 3A).....	90
Tabla 25 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 3B).....	92

Tabla 26 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 3C).....	93
Tabla 27 Agrupación de Resultados de la aplicación de floculante con cáscara de papa para remover Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre.....	97
Tabla 28 Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos a base de floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre	104
Tabla 29 Agrupación de Resultados de la aplicación de floculante con borra de café para remover Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre	108
Tabla 30 Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos a base de floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.....	114
Tabla 31 Comparación de resultados entre el floculante a base de cáscara de papa y borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.....	117
Tabla 32 Contrastación de Hipótesis de Investigación.....	118

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema de funcionamiento de la industria curtiembre.....	33
Figura 2 Esquema de proceso de curtido del cuero	34
Figura 3 Interacción del cromo (III) y las cadenas de colágeno	35
Figura 4 Etapas y procedimientos de investigación.....	48
Figura 5 Diseño experimental del tratamiento de la muestra usando el floculante de cáscara de papa.....	55
Figura 6 Diseño experimental del tratamiento de la muestra usando el floculante de borra de café	56
Figura 7 Remoción de cromo en el Tratamiento 1A usando como floculante la cáscara de papa	61
Figura 8 Remoción de cromo en el Tratamiento 1B usando como floculante la cáscara de papa	62
Figura 9 Remoción de cromo en el Tratamiento 1C usando como floculante la cáscara de papa	64
Figura 10 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa	65
Figura 11 Remoción de cromo en el Tratamiento 2A usando como floculante la cáscara de papa	67
Figura 12 Remoción de cromo en el Tratamiento 2B usando como floculante la cáscara de papa	68
Figura 13 Remoción de cromo en el Tratamiento 2C usando como floculante la cáscara de papa	70
Figura 14 Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la cáscara de papa	71

Figura 15 Remoción de cromo en el Tratamiento 3A usando como floculante la cáscara de papa	73
Figura 16 Remoción de cromo en el Tratamiento 3B usando como floculante la cáscara de papa	74
Figura 17 Remoción de cromo en el Tratamiento 3C usando como floculante la cáscara de papa	76
Figura 18 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa	77
Figura 19 Remoción de cromo en el Tratamiento 1A usando como floculante la borra de café..	79
Figura 20 Remoción de cromo en el Tratamiento 1B usando como floculante la borra de café..	80
Figura 21 Remoción de cromo en el Tratamiento 1C usando como floculante la borra de café..	82
Figura 22 Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café...	83
Figura 23 Remoción de cromo en el Tratamiento 2A usando como floculante la borra de café..	85
Figura 24 Remoción de cromo en el Tratamiento 2B usando como floculante la borra de café..	86
Figura 25 Remoción de cromo en el Tratamiento 2C usando como floculante la borra de café..	88
Figura 26 Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la borra de café..	89
Figura 27 Remoción de cromo en el Tratamiento 3A usando como floculante la borra de café..	91
Figura 28 Remoción de cromo en el Tratamiento 3B usando como floculante la borra de café..	92
Figura 29 Remoción de cromo en el Tratamiento 3C usando como floculante la borra de café..	94
Figura 30 Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café...	95
Figura 31 Análisis descriptivos de los resultados obtenidos de la aplicación de floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente (III) en aguas residuales de curtiembre	99

Figura 32 Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para verificar la distribución de las eficiencias obtenidas de aplicar floculante con cáscara de papa para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre	101
Figura 33 Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Levene para las eficiencias obtenidas de la aplicación del tratamiento con floculante con cáscara de papa.....	102
Figura 34 Presentación de Resultados de la Prueba Tukey respecto a la eficiencia de tratamientos aplicados con floculante a base de cáscara de papa.....	105
Figura 35 Presentación de Resultados de la Prueba Tukey respecto a la eficiencia en los tiempos dosificación aplicados con floculante a base de cáscara de papa	106
Figura 36 Presentación de Resultados de la Prueba Tukey respecto a la eficiencia en las dosis aplicadas con floculante a base de cáscara de papa	107
Figura 37 Análisis descriptivos de los resultados obtenidos de la aplicación de floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente (III) en aguas residuales de curtiembre	110
Figura 38 Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para verificar la distribución de las eficiencias obtenidas de aplicar floculante con borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.....	111
Figura 39 Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Levene para las eficiencias obtenidas de la aplicación del tratamiento con floculante con borra de café.....	112
Figura 40 Presentación de Resultados de la prueba Tukey respecto a la eficiencia de tratamientos aplicados con floculante a base de borra de café	114
Figura 41 Presentación de Resultados de la prueba Tukey respecto a la eficiencia en los tiempos dosificación aplicados con floculante a base de borra de café.....	115

Figura 42 Presentación de Resultados de la prueba Tukey respecto a la eficiencia en las dosis aplicadas con floculante a base de borra de café 116

Resumen

La industria curtiembre genera efluentes con altas concentraciones de cromo por lo cual es necesario tratar sus efluentes como medida para proteger el medio ambiente. En el presente trabajo de investigación se busca evaluar la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre, por lo cual se analizó muestras de agua residual de la industria curtiembre obteniéndose concentraciones iniciales de cromo de 56.54 (Tratamiento 1), 5.41 (Tratamiento 2) y 17.09 mg/L (Tratamiento 3), los cuales fueron tratadas con el método de jarras a un volumen constante de 0.5 litros y velocidad de agitación de 100 RPM (para el floculante de cáscara de papa) y 250 RPM (para el floculante de borra de café), en tiempos de 15, 30 y 60 minutos respectivamente, y un tiempo de sedimentación de 30 minutos. Cabe precisar que, no se logró una dosis óptima en el Tratamiento 1 de los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café que permitan alcanzar el LMP para el parámetro cromo sin embargo se logró una eficiencia de remoción de cromo de 41.95% de la concentración inicial usando la cáscara de papa, por otro lado, para el Tratamiento 2 y 3 se logró determinar las dosis óptimas de los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café que permitieron alcanzar el LMP para el parámetro cromo y la remoción total del cromo logrando el 100% de eficiencia.

Palabras claves: cromo, cáscara de papa, borra de café, dosis, floculantes naturales.

Abstract

The tanning industry generates effluents with high concentrations of chromium, which is necessary to treat its effluents as a measure to protect the environment. In the present research work, is sought to evaluate the efficiency of potato peel and used coffee grounds as flocculants to remove chromium (III) from the wastewater of the tanning industry, for which wastewater samples from the tanning industry were analyzed, obtaining initial chromium concentrations of 56.54 (Treatment 1), 5.41 (Treatment 2) and 17.09 mg/L (Treatment 3), which were treated with the jar method at a constant volume of 0.5 liters and agitation speed of 100 RPM (for the potato peel flocculant) and 250 RPM (for the used coffee grounds flocculant), in times of 15, 30 and 60 minutes respectively, and a settling time of 30 minutes. It should be noted that an optimal dose was not achieved in Treatment 1 of the natural flocculants of potato peel and used coffee grounds that allow reaching the LMP for the chromium parameter, however, a chromium removal efficiency of 41.95% of the initial concentration using potato peel, on the other hand, for Treatment 2 and 3 were possible to determine the optimal doses of the natural flocculants of potato peel and used coffee grounds that allowed reaching the LMP for the chrome parameter and the total removal of chrome achieving 100% efficiency.

Keywords: chromium, potato peel, used coffee grounds, dose, natural flocculants.

I. INTRODUCCIÓN

La industria curtiembre permite la producción de cueros a través de un proceso que consta de las etapas de ribera, curtido, recurtido y acabado; siendo en la etapa de curtido donde se utiliza las sales de cromo para estabilizar el colágeno y transformar la piel en cuero. Cabe precisar que las sales de cromo no se logran fijar en su totalidad por lo cual se pierden con el agua residual encontrándose como Cr^{6+} y Cr^{3+} , si bien es cierto el Cr^{3+} es 1000 veces menos tóxico que el Cr^{6+} pero a determinadas condiciones puede oxidarse a la forma hexavalente y de esa manera impactar al cuerpo receptor del efluente.

Por lo cual la presente tesis tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre, mediante el método de jarras con la finalidad de generar información técnica sobre el uso de floculantes elaborados a partir de residuos orgánicos que servirá para las industrias curtiembres en el tratamiento de sus efluentes y de ese modo reducir las concentraciones de cromo (III) y lograr cumplir las exigencias de la normativa ambiental.

Para el presente trabajo se trató muestras de agua residual de la industria curtiembre con el método de jarras a un volumen constante de 0.5 litros y velocidad de agitación de 100 RPM (para el floculante de cáscara de papa) y 250 RPM (para el floculante de borra de café), en tiempos de 15, 30 y 60 minutos respectivamente, y un tiempo de sedimentación de 30 minutos.

La presente tesis está organizada de la siguiente manera:

- Capítulo I: Descripción y formulación del problema, estudios realizados en la misma línea de investigación (antecedentes nacionales e internacionales), los objetivos, la justificación e importancia y las hipótesis de la tesis.

- Capítulo II: Marco teórico, se presenta las definiciones que sustentarán el trabajo de investigación.
- Capítulo III: Método, se presenta el tipo de investigación, el ámbito temporal y espacial, las variables e indicadores, la población y muestra, los instrumentos, los procedimientos y el análisis de datos.
- Capítulo IV: Resultados obtenidos, se presenta los resultados de la caracterización del efluente de la industria curtiembre, además de las dosis óptimas y eficiencias para cada uno de los tratamientos realizados en la investigación.
- Capítulo V: Discusión de resultados, se compara los resultados obtenidos con los resultados de estudios realizados en la misma línea de investigación (antecedentes nacionales e internacionales).
- Capítulo VI: Conclusiones, se presenta las conclusiones de la investigación respecto a la eficiencia de los floculantes naturales elaborados a partir de cáscara de papa y borra de café para remover Cromo III de efluentes de la industria curtiembre.
- Capítulo VII: Recomendaciones, se presenta sugerencias a considerar para futuros trabajos de investigación y/o la aplicación a escala industrial.
- Capítulo VIII: Referencias, se presenta las referencias bibliográficas utilizadas en la presente investigación.
- Capítulo IX: Anexos, se presenta la matriz de consistencia y el panel fotográfico del trabajo de investigación realizado.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del Problema

Elangovan et al. (2008, como se citó en Pabón & Rosas, 2016) afirma que “la presencia de metales pesados en cuerpos acuáticos constituye un problema grave de contaminación debido a la toxicidad intrínseca, a su bioacumulación, y a su persistencia en la naturaleza” (p. 9)

Cabe precisar que la mayor fuente de contaminación por metales pesados en los cuerpos acuáticos corresponde a la descarga inadecuada de efluentes industriales, por lo cual se deben tratar previamente con el fin de minimizar la concentración de sus contaminantes y atenuar los impactos que pueda generar al cuerpo receptor. (Gil et al., 2003, como se citó en Pabón & Rosas, 2016, p. 9)

En la industria curtiembre según Chávez (2010) los métodos utilizados para el tratamiento del cuero son: curtido vegetal, sintético y mineral; siendo el curtido mineral que tiene como reactivo al cromo el más usado a nivel mundial debido al fácil procesamiento, amplio alcance y buenos resultados (excelentes propiedades en el cuero). (pp. 43-44)

La dificultad que presenta el uso de sales de cromo en el curtido es la cantidad de curtiente que no se fija, debido a que en promedio entre el 60% al 80% de estas sales reaccionan con la piel y el cromo restante se pierde con el agua residual (Córdova et al., 2014, p. 183); “encontrándose el cromo como cromo hexavalente Cr^{6+} (en forma de ion cromato CrO_4^{-2} o del ion dicromato $Cr_2O_7^{-2}$) o como trivalente Cr^{3+} ; siendo este último es más estable y 1000 veces menos tóxico que el Cr^{6+} ” (Tapia et al., 2003, como se citó en Chávez, 2010, p. 43). Asimismo, Chávez (2010) afirmó lo siguiente:

Los efectos tóxicos del Cr^{3+} son menores a los del Cr^{6+} , conocido como cancerígeno, ya que puede ocasionar manifestaciones agudas y crónicas en las personas que hayan estado en contacto directo, sin embargo, el Cr^{3+} en el medio acuático puede ser oxidado a la forma hexavalente cuando se presenta las condiciones de pH entre 5.5 y 6 y la presencia de óxido de manganeso. (p. 44)

Por lo cual se crea la necesidad de tratar los efluentes generados de la industria curtiembre para reducir la concentración de cromo antes de su vertimiento al cuerpo receptor como medida para proteger el medio ambiente y la salud humana.

Para lo cual existen diversos métodos y tratamientos que garantizan la capacidad de remoción de metales; sin embargo, existiendo la posibilidad de reducir costos sin sacrificar eficiencias de remoción, se recurre a métodos o tecnologías económicas y eficaces con floculantes naturales (Marton et al. ,2018 tal como se citó en Fernandez et al., 2020, p. 23)

Por lo cual el presente trabajo de tesis evaluará la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema principal

¿Cuál es la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua residual obtenida de la industria curtiembre?

- ¿Cuál es la dosis óptima de los floculantes naturales de cáscara de papa y la borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre?
- ¿Cuál es la eficiencia individual y porcentual de los floculantes naturales de cáscara de papa y la borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes nacionales

Muñiz (2016), en su tesis titulado “Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa” tuvo como objetivo determinar la eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción de Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria curtiembre – Huachipa 2016 para lo cual utilizó la técnica de prueba de jarras a 100 rpm, 500 ml de muestra y 0.250 g de biosorbente a diferentes tiempos de contacto 10 min (A), 20 min (B), 30 min (C), 60 min (D) y 90 min (E) realizando 5 tratamientos por triplicado. Obteniendo como resultado que el tratamiento óptimo es T1-D que corresponde a un tiempo de 60 min en el cual pudo reducir de 1.6 mg/L (Concentración inicial) a 0.26 mg/L (Concentración final) de cromo hexavalente obteniendo una eficiencia de 83.75%, a su vez el valor obtenido está por debajo del LMP para este tipo de industrias. Concluyéndose que el biosorbente de coronta de maíz es eficiente para la adsorción de Cromo Hexavalente.

Lagos (2016), en su tesis titulada “Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local” tuvo como objetivo determinar las condiciones idóneas para lograr la óptima adsorción de cromo empleando un residuo orgánico doméstico, borra de café, en efluentes de una industria curtiembre local. El tratamiento del cromo del efluente generado en la

etapa de curtido se realizó ajustando el pH con hidróxido de sodio y posteriormente se realizó la adsorción con borra de café obteniendo una remoción de 94.11%. Sin embargo, la remoción por ajuste de pH fue de 93.34% y de la borra de café por lo tanto solo es del 0.77%. Concluyéndose que lo más adecuado para una mejor remoción de cromo se debe realizar la recuperación de cromo a pH 6 y luego de ajustarlo a 5 para realizar la adsorción de cromo a partir de la borra de café.

Ramos (2017), en su tesis titulada “Bioadsorción con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre en Huachipa” tuvo como objetivo determinar el porcentaje de la bioadsorción del quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de una curtiembre en Huachipa. En la presente investigación se utilizó las técnicas prueba de jarras (300 rpm y 2 horas de agitación) y el análisis colorimétrico para la determinación de cromo hexavalente. Para lo cual se ajustó el pH a 5 con hidróxido de sodio a las muestras con concentraciones de 3.96 mg/L y 1.87 mg/L y posteriormente se realizó la adsorción con 0.6 gramos de quitosano que tenía un tamaño de partícula 250 μm obteniéndose que una remoción entre un 58.75% y 61.17% de Cr (VI) en concentraciones de 3.96 mg/L y 1.87 mg/L. Concluyéndose que es eficiente el quitosano para la remoción de cromo hexavalente.

Paz (2020), en su tesis titulada “Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembre, empleando vainas de arvejas *Pisum Sativum* L. para obtener agua categoría 3 D2 D.S. 004-2017 MINAM en Arequipa 2018” estudia la remoción de cromo total de efluente de curtido cuya concentración de cromo inicial fue de 1040 ppm, para lo cual se ajustó el pH, obteniendo como pH óptimo 1.08 que generó una concentración de cromo total residual de 2.45 ppm, el cual fue tratado con 3 gramos de biomasa con un tiempo de contacto entre el efluente y el absorbente de 16 horas logrando una concentración final de 0.93 mg/L con lo que alcanzó el Estándar de Calidad Ambiental para la categoría 3 D2 para bebida de animales, sin embargo cabe

precisar que no se consideró en la tesis la agitación que incrementa la velocidad de adsorción. Concluyéndose que se logró biorremover el cromo total de una muestra de efluente de la etapa de curtido, alcanzando una concentración final de 0.93 ppm de Cr total, con lo cual cumple el ECA-Agua en la categoría 3-D 2 que es para bebida de animales (1 mg/L).

Delgado (2021), en su tesis titulada “Evaluación del efecto del quitosano sobre las concentraciones de cromo y los parámetros fisicoquímicos en efluentes de curtiembre” que tuvo como objetivo evaluar el efecto del quitosano sobre las concentraciones de cromo y los parámetros fisicoquímicos presentes en efluentes de curtiembre. Por lo cual en la investigación se caracterizó el efluente del curtido de la curtiembre el cual tuvo 46.59 mg/L de cromo VI, 1055.57 mg/L de cromo III y un pH de 5.17 posteriormente se realizó el tratamiento utilizando la prueba de jarras y los coagulantes quitosano comercial (0.1%) en un volumen de 50 mL, y para el quitosano extraído (0.1%) y sulfato de aluminio (1%) en un volumen de 150 ml determinándose como el mejor tratamiento al quitosano extraído con valores de remoción de 46 – 73%, evidenciándose el grado de adsorción del quitosano y su efectividad como agente coagulante de origen natural, siendo superior frente a un coagulante sintético.

1.2.2. Antecedentes internacionales

Mutongo et al. (2014), en su artículo científico titulado “Removal of Cr (VI) from aqueous solutions using powder of potato peelings as a low cost sorbent” evaluaron la remoción de cromo hexavalente en efluentes sintéticos generados a partir de agua desionizada y dicromato de potasio evaluándose en ello el efecto de la dosis de biosorbente y la cinética de eliminación. Obteniéndose como resultado que una dosis de adsorbente de 4 g/L fue efectiva en la eliminación completa del ión metálico (40 mg/L), a pH 2.5 en 48 minutos con una capacidad de adsorción máxima de 3.28

mg/g. Concluyéndose que la cáscara es un biosorbente efectivo para la remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas.

Pabón et al. (2016), en su tesis titulada “Determinación de la eficiencia de adsorción de la cáscara de café y cáscara de papa en la remoción de Cr (VI) presente en aguas residuales provenientes de una curtiembre de Pandiaco, Colombia” que tuvo como objetivo determinar la eficiencia de adsorción de la cáscara de café y cáscara de papa en la remoción de cromo (VI) presente en aguas residuales provenientes de la curtiembre de Pandiaco. Por lo cual en la investigación se determinó la concentración de Cromo (VI) de la muestra de agua por el método de Espectrometría de Absorción Atómica obteniéndose como resultado 165 ppm, a partir del cual se elaboró una serie de muestras sintéticas sobre el cual se aplicó un diseño experimental 2^3 , donde se consideraron los factores: Tamaño de la partícula de bioadsorbente (0.5 y 0.8mm), tiempo de activación de las cáscaras (4 h) masa del bioadsorbente activado (1 y 2g) y un pH ácido de 3. Obteniéndose como resultado que con la cáscara de café y la cáscara de papa una remoción promedio de cromo hexavalente de 99.23% y 98.15% respectivamente. Concluyendo que la cáscara de café y papa es eficiente para la remoción de cromo hexavalente.

Dávila et al. (2017), en su artículo científico titulado “Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos” estudia la remoción de Cr (VI) en solución acuosa sintética preparada a partir de la concentración detectada en una muestra de vertimientos de curtiembres (Cr (VI): 32.6 mg/kg), los ensayos se realizaron en el reactor Batch donde se dispusieron cinco filtros a escala de laboratorio empacados con cáscara de plátano (*Musa AAB*) y naranja (*Citrus sinensis*) (Fa: 100% naranja, Fb: 70% naranja/30% plátano, Fc: 50% naranja/50% plátano, Fd: 30% naranja/70% plátano y Fe: 100% plátano). El tratamiento con mejor bioadsorción de Cr (VI) fue Fd con una eficiencia de remoción

del 93%, comparado a Fa: 73%, Fb: 90%, Fc: 86% y Fe: 82%. Por otra parte, las constantes de adsorción estimadas en este estudio se encuentran entre 96-132 mg Cr (VI)/g adsorb. Concluyéndose que los bioadsorbentes combinados con plátano y naranja podrían ser recomendados para la remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres.

Ordoñez (2017), en su tesis titulada “Determinación de la capacidad absorbente de los residuos de la papa (*Solanum tuberosum*) para remoción de metales pesados en aguas contaminados” tuvo como objetivo determinar la capacidad de los residuos generados en la industria de la papa con la finalidad de utilizar como biosorbente para el tratamiento de aguas residuales que contienen metales pesados. Por lo cual en la investigación se usó 0.1 gramos de biosorbente variando el pH con un tamaño de partícula menor a 0.3 mm dando como resultado un pH ideal de 4.0 para Pb y Cr respectivamente. Obteniéndose como resultado que la tasa máxima de retención del Pb fue de 14.59 mg/g y del cromo fue 98.39 mg/g, con respecto al tiempo de contacto para la concentración de 10 ppm su tiempo óptimo es de 60 min, para la concentración de 25 ppm es de 90 min y para las concentraciones de 50 y 100 ppm el tiempo es de 120 min. Concluyéndose que el biosorbente de residuos de papa tiene una buena capacidad de biosorción de Pb y Cr, además que el tiempo de contacto del adsorbente con la muestra varía en función de la concentración inicial, es decir, a mayor concentración más tiempo tomara para llevar a cabo la remoción.

Acosta et al. (2017), en su artículo científico titulado “Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético” tienen como objetivo remover cromo (VI) de efluentes industriales sintéticos utilizando cáscara de yuca para lo cual realizó pruebas variando la concentración inicial de cromo (30, 40 y 50 ppm) y la temperatura (25, 30 y 35 °C), manteniendo fija la concentración del adsorbente

(3.33 g/l), el tiempo de contacto 40 minutos y el pH 2, el cual se ajustó con ácido sulfúrico (H₂SO₄). También se realizó pruebas usando una concentración inicial de 50 ppm y tiempo de contacto de 120 minutos, variando la concentración del adsorbente (2, 4, 20 y 25 g/l). Concluyéndose que a mayor concentración de bioadsorbente se presenta mayor porcentaje de remoción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Evaluar la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente el agua residual de la industria curtiembre.
- Determinar la dosis óptima de los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre.
- Determinar la eficiencia individual y porcentual de los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación

La floculación permite la aglomeración de partículas suspendidas y/o disueltas en las aguas, por lo cual es una alternativa para tratar aguas contaminadas con metales pesados. Además, la presencia de quitosano, almidón, celulosa y pectina en los residuos orgánicos permite la adsorción de contaminantes como son los metales pesados por lo cual los residuos orgánicos son

una alternativa como floculantes naturales considerando su bajo costo y biodegradabilidad. (Ibarra, 2020)

La presente investigación nos permitirá dar a conocer un uso alternativo de los residuos orgánicos cáscara de papá y borra de café para remover el cromo (III) presente en los efluentes de la industria curtiembre; que según Chávez (2010) puede ser oxidado a la forma hexavalente Cr^{6+} que tiene características como tóxico y cancerígeno, en un proceso determinado por la presencia de óxido de manganeso y un pH entre 5.5 y 6.

Considerando que según el MIDAGRI (2021) el consumo per cápita en el país es de 90 kilos anuales es decir alrededor de 250 gramos o dos (02) papas diarias que genera residuo ya que su consumo alimenticio no es total y situación similar ocurre con el café que según la Junta Nacional del Café (2022) el consumo alimenticio en nuestro país es 1.4 kilos por persona al año, que genera la borra de café.

La presente investigación se justifica práctica porque la investigación brindará información que servirá para las industrias curtiembres para el uso de floculantes elaborados a partir de residuos orgánicos como son la borra de café y la cáscara de papa en el tratamiento de sus efluentes y de ese modo reducir las concentraciones de cromo (III) y lograr cumplir las exigencias de la normativa ambiental, además de reducir el uso de floculantes inorgánicos.

1.4.2. Importancia

El presente trabajo de investigación está dirigida a las autoridades de las industrias curtiembres en cuyo proceso genera efluentes con cromo (III), el cual a determinadas condiciones según Roig (2006) puede ser oxidado a la forma hexavalente convirtiéndose en una sustancia tóxica para los organismos ya que puede alterar el material genético y causar cáncer.

En este sentido, es importante que se replique la información técnica generada a gran escala como una tecnología alternativa para el tratamiento de sus aguas residuales donde se aprovecha residuos como la cáscara de papa y borra de café que carecen de valor económico, con lo cual se busca reducir los gastos de uso en sustancias químicas y sobre todo contribuye a atenuar impactos sobre el ambiente por dicha industria.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La borra de café y la cáscara de papa presentan diferentes niveles de eficiencia de remoción del cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos del agua residual obtenida de la industria curtiembre exceden a LMP.
- La cáscara de papa y borra de café difieren en sus dosis óptimas de ensayo para la remoción del cromo (III) de la muestra de agua residual de la industria curtiembre.
- La cáscara de papa y borra de café difieren en sus eficiencias porcentuales de remoción del cromo (III) de la muestra de agua residual de la industria curtiembre.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. La actividad curtiembre

2.1.1.1. La actividad curtiembre en el Perú

Miller et al. (1999) afirman que parte de la economía peruana es informal situación que no excluye a la actividad curtiembre ya que se estima que las curtiembres formales producen hasta el 50% del cuero que se curte en el país, por lo cual la otra mitad de producción es realizada por el sector informal. Cabe precisar que según Rey de Castro (2013) que las empresas dedicadas a la industria curtiembre en nuestro país, tanto formales como informales operan principalmente en las ciudades de Trujillo, Arequipa y Lima; ciudades que presentan la problemática de vertimiento de efluentes sin previo tratamiento a los cuerpos de agua por parte de las empresas curtiembres informales causando impacto en los cuerpos receptores (p. 2).

Tabla 1

Número de empresas dedicadas a la industria curtiembre en la ciudad de Lima en el año 2012

Distrito	Cantidad de empresas
San Juan de Lurigancho	2
Ate	4
Lima	15
San Isidro	1
Rímac	2
San Juan de Miraflores	1
La Victoria	1
Santa Anita	1
Comas	1
Total de empresas	28

Nota: Información obtenida de Produce (Citado por Huamaní, 2014, p. 57)

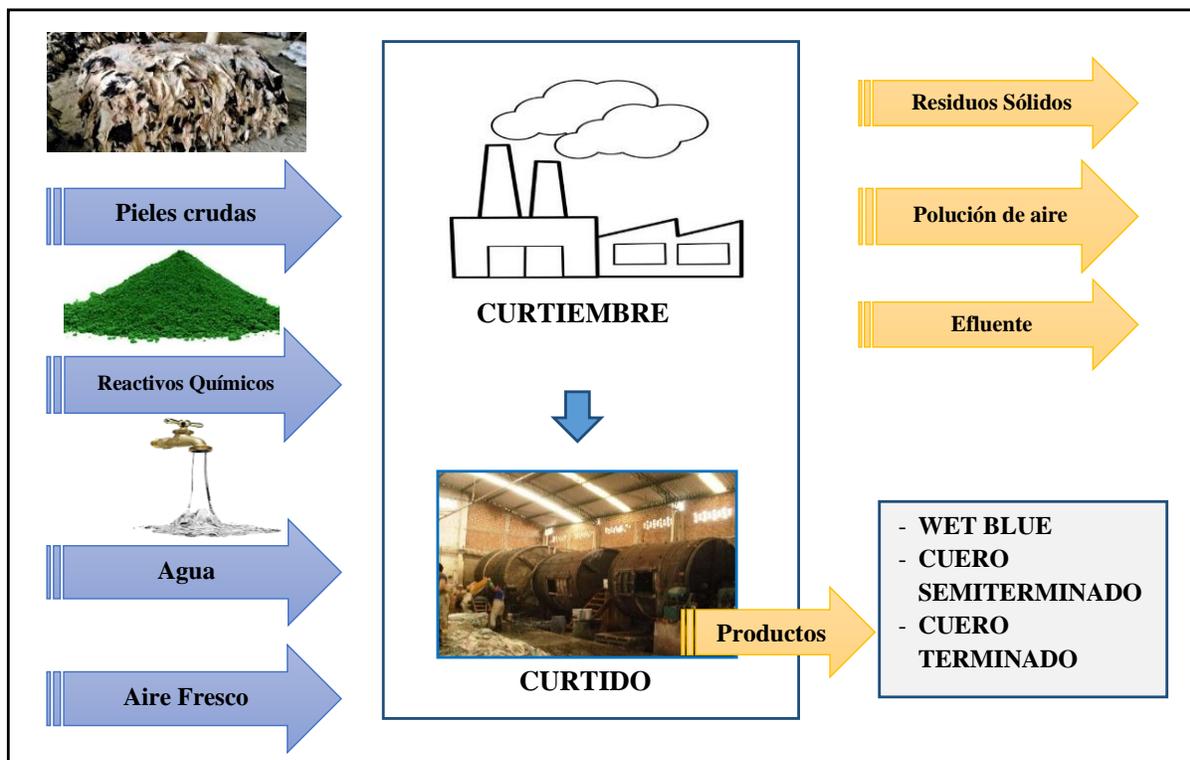
2.1.1.2. Procesos en la Industria Curtiembre

Según Rey (2013) la industria curtiembre transforma la piel de un animal en un producto imputrescible y con mejores propiedades, para lo cual se siguen las siguientes etapas: ribera; curtido; recurtido y acabado. Cabe precisar que no hay una secuencia definida de las etapas en el proceso de la industria curtiembre además que en el proceso se pueden usar diferentes reactivos con la finalidad de diferenciar su producto y es por ello que no se puede generalizar las características físico – químicas de los efluentes.

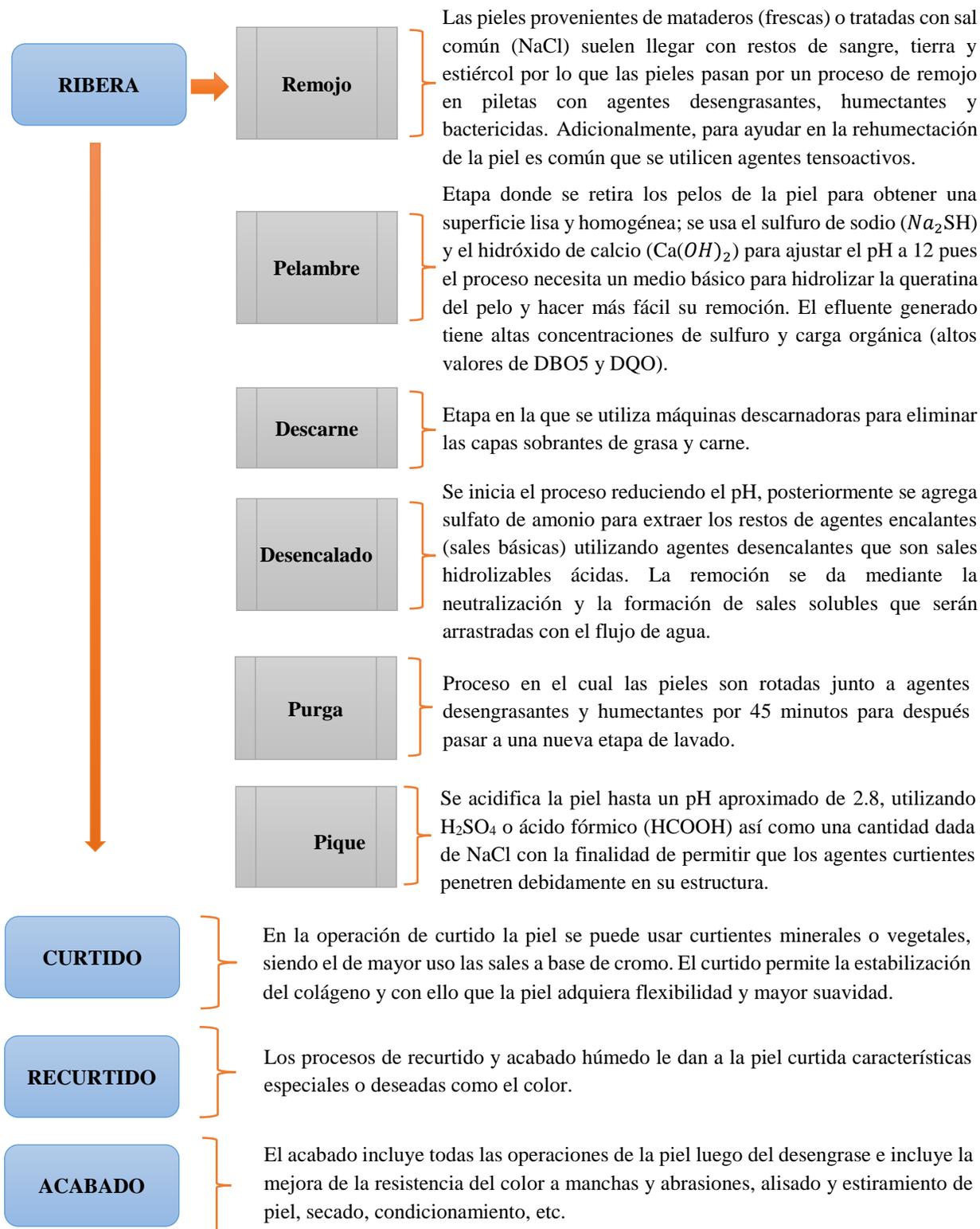
Lagos (2016) afirma que en muchos de los países en desarrollo el proceso de la industria curtiembre permanece tradicional, es decir no ha sido modificado de modo que se logre una optimización del uso de insumos químicos y del agua en sus etapas de ribera y curtido en las cuales se tiene mayor demanda. La demanda de agua por las industrias curtiembres hace que muchas de ellas se ubiquen en cercanías de las riberas, y debido a la cercanía de algunas empresas curtiembres con respecto a los cuerpos de agua aprovechan para el vertimiento de sus efluentes sin tratamiento impactando en la calidad de los cuerpos de agua receptores.

Figura 1

Esquema de funcionamiento de la industria curtiembre



Nota. Adaptado de Esquema de funcionamiento de la industria curtiembre, por Lagos, 2016.

Figura 2*Esquema de proceso de curtido del cuero*

Nota: Información sintetizada de Rey de Castro, 2013, pp. 3,5 y 6.

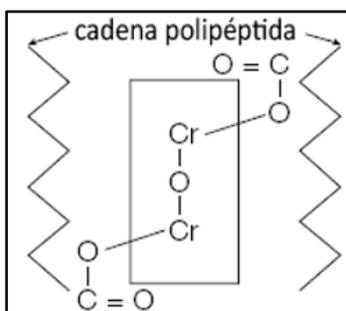
2.1.1.2.1. *Proceso de curtido por cromo*

Según Lagos (2016) el curtido por cromo consiste en transformar la piel cruda en cuero mediante la estabilización de la estructura del colágeno usando como reactivo principal al cromo trivalente con el cual se busca evitar una futura descomposición y lograr un cuero resistente a la humedad, flexible y durable.

El curtido se alcanza entrecruzando las cadenas de colágeno con agentes entrecruzadores como es el cromo (elemento de transición que forma complejos), teniendo como centro reactivo a los grupos carboxilos de las cadenas de colágeno. (pp. 13-14)

Figura 3

Interacción del cromo (III) y las cadenas de colágeno



Nota: Tomado de Interacción del cromo (III) en la formación de entrecruzamientos de cadenas de colágeno (p. 9), por Rey de Castro, 2013.

2.1.1.3. *Efluentes de curtiembre*

Los efluentes de la industria curtiembre contienen una mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos, sin embargo, se caracteriza por tener elevado los parámetros de cromo y Demanda Química de Oxígeno (DQO). El cromo residual en el efluente es principalmente debido a que en el proceso de curtido con sales de cromo solo se aprovecha del 50 al 70% del reactivo pudiendo alcanzar en el efluente concentraciones de hasta 7000 mg/L. (Cassano et al, 2001, como se citó en Lagos, 2016)

Tabla 2*Características del efluente de curtiembre por etapas*

Parámetros	Unidad	Remojo	Encalado	Desencalado	Curtido con Cromo	Teñido, engrasado, re curtido
pH		6 -10	12.5 - 13	6 - 11	4 – 3.2	4 - 10
Temperatura	°C	10 - 30	10 - 25	20 - 35	-	20 - 60
Sólidos Suspendidos						
Totales	mg/L	2300 - 6700	6700 - 25000	2500 - 10000	380 - 1400	10000 - 20000
DBO	mgO ₂ /L	2000 - 5000	5000 - 20000	1000 - 4000	100 - 250	6000 – 15000
DQO	mgO ₂ /L	5000 - 1100	20K – 40K	2500 - 7000	800 - 400	15000 – 75000
Cromo III	mg/L	-	-	-	4100	0 - 3000
Sulfuros	mg/L	0 - 700	2000- 3300	25 - 250	-	-
Cloruros	mg/L	17000 - 50000	3300 - 25000	25000 - 15000	8950 - 20000	5000 - 10000
Aceites y grasas	mg/L	1700 - 8400	1700 - 8300	0 - 5	-	20000 - 50000
Solventes Clorados	mg/L	-	-	0 – 2500	-	0 - 250
Surfactantes	mg/L	0 - 400		0 - 500	-	500 - 2000

Nota: Tomado de la tesis Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local (p. 16), por Lagos, 2016.

2.1.2. Impactos del cromo

Según Chávez (2010) los efectos tóxicos del cromo trivalente (Cr^{3+}) son menores a los del cromo hexavalente (Cr^{6+}), el cual es conocido como cancerígeno, sin embargo, sobre el medio ambiente acuático, el Cr^{3+} puede ser oxidado a la forma Hexavalente considerando un rango de pH entre 5.5 y 6 y la presencia de óxido de manganeso por lo cual deben controlarse las actividades antrópicas que liberan Cr^{3+} .(pp. 44-46)

2.1.2.1. Impactos del cromo en los ecosistemas

El cromo trivalente a diferencia del cromo hexavalente no es estable como para ser transportado en el agua, es decir este se precipita rápidamente y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo (Chávez, 2010).

Lenntech (2008, como se citó en Chávez, 2010) Las altas concentraciones de cromo en las aguas superficiales, afecta a la fauna, ya que pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido, bioacumularse en especies como el bagre (*Ictalujrusnebulosus*) y bivalvos como la ostra (*Crassostreavirginica*), el mejillón azul (*Mytilusedulis*) y la almeja de caparazón blando que se alimentan del fondo o causar problemas respiratorios, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores.

El exceso de cromo en las plantas genera la inhibición del crecimiento tanto de raíces como de la parte aérea y además de la inhibición de la germinación debido a la disminución en la permeabilidad al agua (Gunsé, 2008).

2.1.2.2. Impactos de cromo en la salud

Según Montoya et al. (2010) los efectos adversos del cromo en la salud dependen del grado de valencia y la solubilidad del compuesto por ejemplo la exposición al cromo III puede causar

irritación en los ojos y en el tracto respiratorio y la exposición al cromo VI puede causar erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y muerte.

2.1.3. Tecnologías para la remoción de metales pesados en medios acuosos

Marin et al. (2012, como se citó en Lagos, 2016) afirma que los tratamientos tradicionales de remoción de metales en medios acuosos como son la precipitación, intercambio iónico, filtración por membrana, electrodeposición y adsorción presentan algunas desventajas como altos requerimientos químicos y/o energéticos, formación de lodos peligrosos, baja eficiencia en bajas concentraciones (por debajo de 100 mg/L) y alto costo a grandes escalas por lo cual es un tratamiento viable la coagulación – floculación con floculantes naturales debido a que aprovecha residuos orgánicos para remover metales pesados en aguas residuales industriales y municipales.

Tabla 3*Métodos de tratamiento de agua para la eliminación de iones metálicos*

N°	Métodos	Desventajas	Ventajas
1	Precipitación química	Consumo de productos químicos Grandes cantidades de lodos	Operación simple, asequible, remueve la mayoría de metales.
2	Coagulación – Floculación con floculantes naturales	Tiempo para la formación de flóculos Formación de lodos	Asequible, Operación simple (agitación y sedimentación) Sedimentación de lodos.
3	Intercambio iónico	Costoso	Deshidratación
4	Métodos electroquímicos	Alto consumo de productos químicos	Alta regeneración de materiales
5	Adsorción usando carbón activado	Costoso	Selectivo
6	Biadsorción	Menor número de iones metálicos removidos	Selectivo, asequible
7	Filtración por membrana	Costoso de operación debido a ensuciamiento de membrana	No uso de productos químicos.
8	Electrodialisis	Costoso de operación por el ensuciamiento de membrana y la energía consumida.	Selectivo en la separación.
9	Fotocatálisis	Largo tiempo de duración, aplicación limitada.	Remoción de metales y contaminantes orgánicos en simultáneo y menos residuos peligrosos.

Nota: Adaptado de Métodos de tratamiento de agua para la eliminación de iones metálicos (p. 17) Lagos, 2016.

2.1.3.1. Floculación

Es el proceso en el cual se busca la formación de flóculos (aglomeración de coloides) mediante la atracción de las partículas con el floculante, depende de las características orgánicas e inorgánicas del agua, así como la dosis del floculante, el efecto energético de la mezcla y el tiempo de la mezcla para determinar la capacidad de remoción de metales o la turbidez de la muestra de agua. (Caviedes et al., 2015)

2.1.3.1.1. Parámetros que afectan la floculación

Según Andia (2000, como se citó en Balbín, 2015) existen diversos factores que determinan la eficacia de remoción de flóculos y con ello la bioadsorción de los metales:

- **Dosis óptima del floculante**

Para las diferentes concentraciones ya sea de sólidos o metales que contenga la muestra de agua, se requiere una cantidad de floculante, debido a que una cantidad superior no será aprovechada en el sistema de floculación o si esta es inferior no se lograra la máxima remoción de los sólidos o metales contenidos en el agua.

- **Velocidad de agitación**

La velocidad de agitación influye en el proceso de formación de floculo, debido a que una agitación rápida permite un mayor número de colisiones entre las partículas y el floculante, sin embargo, es necesario siempre un óptimo de velocidad de agitación para lograr que las partículas se acerquen lo suficiente para formar puentes de enlace y formar los agregados.

- **Características de la muestra de agua**

Las características del agua que más influyen en la eficiencia del proceso de floculación son la concentración de metales, cationes y aniones en la solución, el pH y la temperatura de la solución ya que un incremento de temperatura ayuda en el proceso de floculación.

2.1.4. *Floculantes Naturales*

García (2007, como se citó en Arcila y Peralta,2015) indica que los floculantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua y facilitando su sedimentación.

2.1.4.1. La cáscara de papa como floculante

Fonseca (2008, como se citó en Magallán, 2018) indica que la papa Canchán conocida como “papa rosada” por el color de su cáscara es una de las variedades con mayor siembra en el Perú debido a su uso sugerido en frituras.

Según el INIA (2012) en el Perú se siembra anualmente alrededor de 300 000 hectáreas de papa, siendo el 40 % de estas la variedad Canchán, lo que significa aproximadamente 120 000 hectáreas cada año y se tiene un rendimiento promedio nacional de papa de 13.3 t/ha que puede llegar hasta 30 t/ha.

La papa cumple un rol importante en la seguridad alimentaria mundial debido a que es el cuarto producto más importante superado por el maíz, arroz y trigo (Sierra y Selva Exportadora, 2020, p. 5), sin embargo, el consumo alimentario de la papa genera residuos que no son aprovechados de la mejor forma por lo cual origina desperdicios orgánicos y un mal aprovechamiento de la biomasa.

Por lo cual en el presente trabajo de investigación se evalúa la eficiencia de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) var. Canchán como floculante para remover el cromo, de modo que se pueda dar una aplicación a este residuo generado del uso alimentario.

2.1.4.2. La borra de café como floculante

USDA (2014, como se citó en Lagos, 2016) afirma que el café es un producto importante en el mercado mundial debido a su gran producción el cual corresponde a 149.8 millones de bolsas de 60 kg de los cuales Perú aporta 3.4 millones de bolsas de 60 kg como uno de los diez principales productores a nivel mundial.

Su amplio consumo como bebida, genera residuos como son la cáscara de café y la borra de café (residuo que se queda en los filtros de las cafeteras).

Por lo cual en el presenta trabajo de investigación se evalúa la eficiencia de la borra de café como floculante para remover el cromo, de modo que se pueda dar otra aplicación a este residuo generado del uso alimentario.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque busca resolver problemas y de enfoque cuantitativo porque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico con el fin de establecer pautas de comportamiento (Sampieri et al., 2014).

El diseño es experimental debido a que en el estudio se manipulan intencionalmente variables independientes como son los floculantes de cáscara de papa y la borra de café, para luego medirse la variable dependiente (la muestra de agua residual de la industria curtiembre).

El nivel de la investigación es correlacional debido a que se busca conocer la relación que existe entre las variables dependientes e independientes en un contexto específico que es reducir las concentraciones de cromo de las aguas residuales de la industria curtiembre mediante el uso de floculantes naturales de modo que se logre cumplir los LMP.

3.2. *Ámbito temporal y espacial*

3.2.1. *Ámbito temporal*

La recolección de las muestras de agua residual de la industria curtiembre para evaluar la eficiencia de la borra de café y la cáscara de papa como floculantes para remover el cromo se realizó en los meses de agosto y septiembre del 2019.

3.2.2. *Ámbito espacial*

La recolección de la muestra de agua residual se realizó de la industria curtiembre “Industria Peletera Peruana S.A.” ubicada en el distrito de Ate.

3.3. Variables e Indicadores

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable	Categoría	Acción	Dimensiones	Variable	Indicador
Variable independiente	Floculantes naturales	Determinación de la dosis óptima del floculante	Cáscara de papa	Dosis	mg/L
				Tiempo	minutos
				Velocidad de agitación	RPM
			Borra de café	Eficiencia	%
				Dosis	mg/L
				Tiempo	minutos
Variable dependiente	Aguas residuales	Determinación de la eficiencia del floculante	Parámetros físico químicos	pH	Unidades de pH
				Temperatura	°C
			Cromo	Concentración inicial	mg/L
				Concentración final	mg/L

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población del presente trabajo de investigación está conformada por efluentes de la planta de curtiembre de la empresa Industria Peletera Peruana S.A, el cual solo trabaja las etapas de ribera y curtido.

3.4.2. Muestra

La muestra comprende 20 litros de agua residual por muestreo realizado en la industria curtiembre.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Instrumentos y equipos

Los equipos utilizados para la investigación son:

- Balanza analítica, marca SARTORIUS
- Espectrofotómetro de absorción atómica, marca THERMO SCIENTIFIC
- Estufa, marca OVENS
- Multiparámetro, marca HACTH
- Floculador Programable, marca PHIPPS & BIRDTM.
- Reactor digital, modelo DR/890, marca HACH
- Plancha de calentamiento, marca THERMO SCIENTIFIC

Los materiales usados para la investigación son:

- Fibra de vidrio
- Tubo con tapa de 10 ml
- Fiolas de 1L y de 100 mL
- Envase de 3L

- Crisol
- Bomba de succión
- Aparato de filtración
- Papel filtro
- Desecador
- Matraz Erlenmeyer
- Probeta
- Pipeta
- Luna de reloj
- Vaso precipitado
- Espátula

3.6. Procedimientos

La evaluación de la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo del agua residual de la industria curtiembre seguirá el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 4.

3.6.1. Etapa inicial

En la etapa inicial se visita a las bibliotecas asimismo se busca información en la web (investigaciones nacionales e internacionales) para poder realizar la recopilación bibliográfica y definir la metodología que se va a seguir en la etapa intermedia que se enfoca en la etapa experimental.

3.6.2. *Etapa intermedia*

3.6.2.1. Fase I. Toma y caracterización de la muestra

3.6.2.1.1. *Colecta de la muestra de agua residual*

La recolección de las muestras del agua residual de la industria curtiembre se realizó en los meses de agosto y septiembre del 2019. La muestra tomada para la caracterización inicial fue acondicionada en botellas plásticas y se transportó en un cooler para su preservación siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 “AGUAS RESIDUALES. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado”. Asimismo, la muestra de agua residual que fue tratada con los floculantes naturales fue transportada en baldes y/o galoneras.

3.6.2.1.2. *Caracterización inicial de la muestra del agua*

Se caracterizó la muestra de agua considerando los parámetros indicados en la Tabla 5.

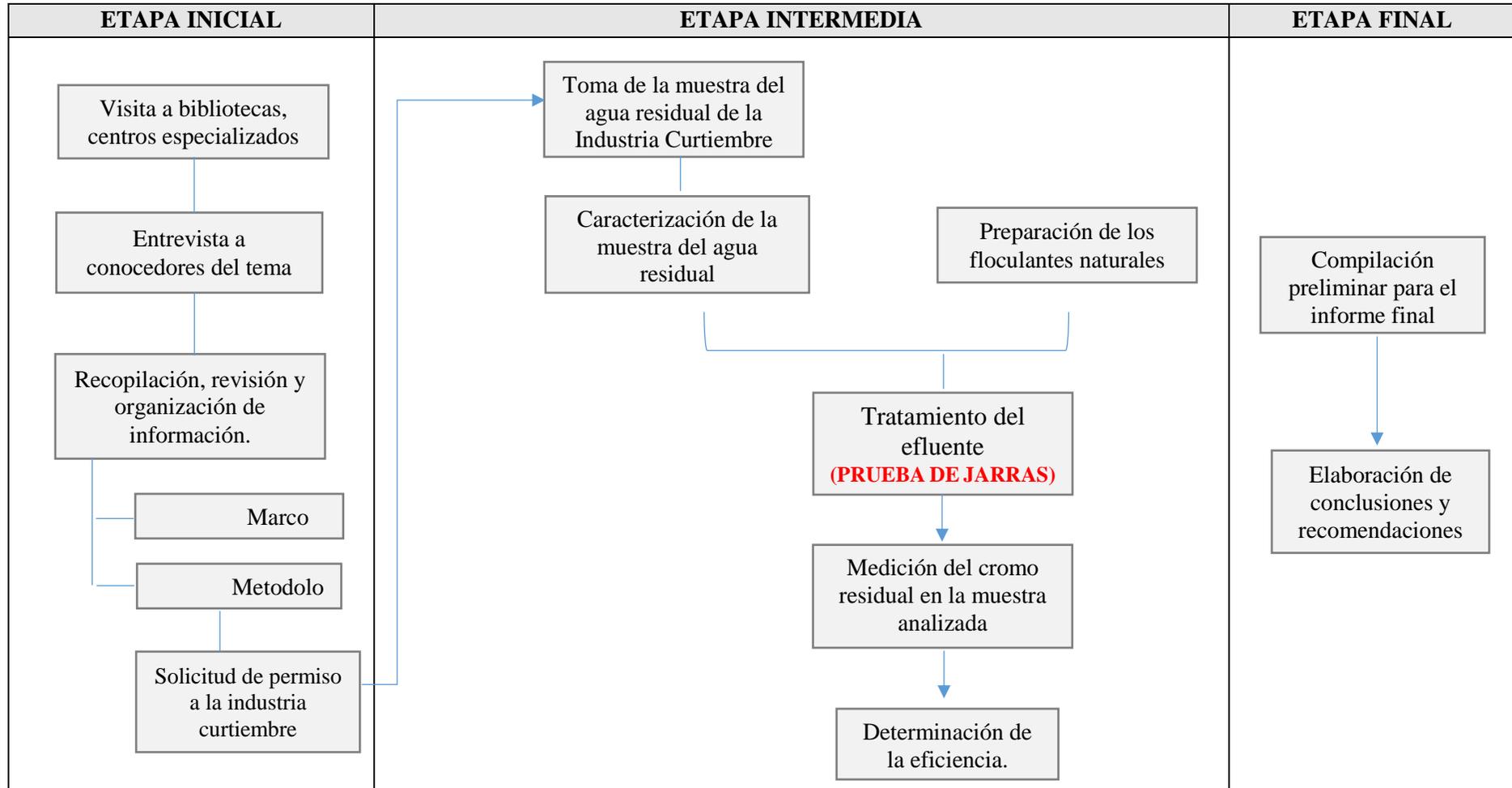
Tabla 5

Parámetros a evaluar en la muestra de agua residual

Parámetros	Métodos
Grado de Acidez o Alcalinidad (pH)	Electrométrico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Colorimétrico
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Gravimétrico
Cromo Hexavalente	Colorimétrico
Cromo Total	Espectrofotométrico

Figura 4

Etapas y procedimientos de investigación



Fuente: Propia

3.6.2.2. Fase II. Preparación de los floculantes naturales

3.6.2.2.1. *Obtención de la cáscara de papa y borra de café*

3.6.2.2.1.1. Cáscara de papa

La materia prima que se utilizará será la cáscara de papa variedad Canchán que se obtiene de consumo doméstico. El proceso de extracción que se aplicará para obtener el polvo de la cáscara de papa es el propuesto por Carmona (2012):

- Lavado de la cáscara de papa para la remoción de tierra.
- Pesado de la cáscara fresca.
- Secado de la cáscara de papa en la estufa a una temperatura de 100 – 105°C durante 24 horas hasta un peso constante
- Molido de la cáscara seca para obtener gránulos pequeños y uniformes.
- Cálculo del porcentaje de recuperación de la cáscara de papa.

3.6.2.2.1.2. Borra de café

La borra de café es el desecho de la extracción del café para elaboración de las bebidas, este se recolecta de uso doméstico. El proceso de extracción que se aplicará para obtener el floculante será el siguiente:

- Secado al aire
- Almacén en contenedores de vidrio en el desecador hasta su uso.
- Pretratamiento de la borra de café para hidrolizar sus grupos funcionales siguiendo el procedimiento realizado por Lagos (2016) que consiste en realizar cinco lavados con una solución de NaOH 0.01M bajo agitación, luego se procede a lavar con agua destilada repetidas veces hasta no observar coloración, posteriormente se repite el lavado, pero con HNO₃ 0.01M.

- Filtrado y secado de la muestra tratada de borra de café en la estufa a 100°C por una hora
- Molido de la borra de café para obtener gránulos pequeños y uniformes
- Cálculo del porcentaje de recuperación de la borra de café.

3.6.2.3. Fase III. Tratamiento del agua residual de la industria curtiembre

El tratamiento del efluente se realizó utilizando la técnica prueba de jarras a 100 y 250 rpm, 500 ml de muestra y temperatura constante. Se adicionó cantidades variables de floculante natural (0.5g, 1g, 1.5 g, 2g y 2.5g), a diferentes tiempos de contacto (15 min (A), 30 min (B) y 60 min (C) tal como se muestra en la Figura 5 y Figura 6.

3.6.2.4. Fase IV. Análisis de muestra tratada

Metodología de evolución de parámetros

Demanda química de Oxígeno

Para determinar la Demanda Química de Oxígeno de la muestra de agua residual de curtiembre se siguió el Método Colorimétrico establecido en los Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WPCF, 1992) para lo cual se consideró lo siguiente:

Tabla 6

Cantidades de muestra y reactivos

	Solución de digestión	Ácido Sulfúrico	Muestra	
Blanco	1.5 ml	3.5 ml	Agua destilada	2.5 ml
Patrón 1	1.5 ml	3.5 ml	Estándar 1 (500 mg/L)	2.5 ml
Patrón 2	1.5 ml	3.5 ml	Estándar 2 (1000 mg/L)	2.5 ml
Muestra a analizar	1.5 ml	3.5 ml	Efluente de curtiembre	2.5 ml

Nota: Adaptado de Tabla 5220: I Cantidades de muestra y reactivos para varios vasos de digestión por APHA-AWWA-WPCF,1992.

Colocar 2.5 ml de muestra (Agua destilada, Estándar 1, Estándar 2 y Efluente de curtiembre) en cada ampolla estándar de 10 ml o tubo de cultivo posteriormente agregar 1.5 ml de solución de digestión y 3.5 ml de reactivo ácido sulfúrico en el orden que fueron mencionados, después proceder a cerrar bien las ampollas o apretar bien los tapones de los tubos para invertir las ampollas o tubos de cultivo varias veces y lograr mezclar completamente la muestra y los reactivos. Posteriormente llevar los tubos o las ampollas al digestor de bloque durante 2 horas, terminado el proceso enfriar los tubos o las ampollas a temperatura ambiente colocándolos en la rejilla de tubos de ensayo.

Para la medición de la absorbancia inviertanse la muestra, el blanco y los patrones enfriados varias veces, sin embargo, dejar depositarse los sólidos antes de medir la absorbancia, para lo cual ajustar la luz del espectrofotómetro a 600 nm.

Posteriormente realizar el siguiente cálculo:

$$DQO (mg O_2/l) = \frac{\frac{mgO_2}{l} * 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

Sólidos Totales en Suspensión (SST)

Para determinar los Sólidos Totales en Suspensión de la muestra de agua residual de curtiembre se siguió el Método Sólidos Totales en Suspensión secados a 103 – 105 °C establecido en los Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WPCF,1992) para lo cual se filtró la muestra (efluente de la curtiembre) bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio y el residuo detenido en el mismo se secó a un peso contante a 103 -105°C. Cabe precisar que el aumento de peso de filtro representa los sólidos en suspensión. Posteriormente realizar el siguiente cálculo:

$$mg \text{ de SST/l} = \frac{(A - B) * 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

Donde:

A = Peso del filtro + residuo seco, mg

B= Peso de filtro, mg

Aceites y grasas

Para determinar la cantidad de aceites y grasas de la muestra de agua residual de curtiembre se siguió lo establecido en los Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WPCF, 1992) el cual tiene como disolvente al triclorotrifluoroetano, sin embargo, para la presente investigación se utilizó como disolvente al hexano en recomendación a lo indicado por Rodier (1981).

Para lo cual se acidificó la muestra usando 5 ml de HCl posteriormente se pasó la muestra a un embudo de separación y se agregó 30 ml de hexano, después se agitó suavemente durante 5 a 10 minutos y se dejó que se separen las capas. Luego se drenó la capa acuosa en un vaso precipitado y se llevó a la estufa a 80°C por 2 horas. Seguidamente se llevó el vaso precipitado al desecador durante 30 minutos y se pesó.

La cantidad de aceites y grasas en la muestra se calcula con la siguiente fórmula:

$$mg \text{ de Aceites y grasas/l} = \frac{(A - B) * 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

Donde:

A = Peso del vaso precipitado + aceites y grasas, mg

B= Peso de vaso precipitado, mg

Cromo hexavalente

Para determinar el cromo hexavalente se siguió lo establecido por Rodier (1981) en su libro “Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar” mediante el método colorimétrico, el cual tiene como principio que, en una muestra ácida, el cromo hexavalente reacciona con el difenilcarbocida para dar una coloración rojo-violeta, por lo cual la no coloración nos indica la ausencia de Cromo VI en la muestra

Para lo cual se vierte 50 ml de muestra en un matraz aforado y 2.5 ml de la solución difenilcarbocida, posteriormente se agita y deja en reposo durante 10 minutos. Posteriormente se efectúa la lectura en el espectrofotómetro a la longitud de onda de 540 nm.

Cromo Total

Para determinar el cromo total se siguió lo establecido por Rodier (1981) en su libro “Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar”, para ello se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de cátodo hueco y un conjunto nebulizador -quemador de aire-acetileno.

Previamente de los tratamientos realizados en el test de jarras se tomó una alícuota de 100 ml de cada tratamiento, al cual se agregó 5 ml de ácido nítrico para posteriormente

ser llevado a la plancha de calentamiento y realizar el proceso de digestión a una temperatura de 95 °C por un tiempo aproximado de 50 minutos hasta obtener una reducción del volumen inicial de 25% aproximadamente.

Posteriormente se realizó la lectura de las absorbancias de las muestras digeridas para determinar la concentración final de cromo usando el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.6.2.5. Fase V. Determinación de la eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción de cromo se expresa en porcentaje haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia de Remoción} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100$$

Dónde:

C_i : Valor inicial del parámetro evaluado

C_f : Valor final del parámetro evaluado

3.6.2.6. Fase V. Análisis Estadístico

Para el análisis de datos estadísticos de la presente tesis se utilizó el programa Excel, en el cual se procesó los datos obtenidos durante la experimentación. Por otro lado, también se utilizó el software MINITAB; esto para la contratación de la hipótesis.

3.6.3. Etapa final

Se efectuarán la elaboración de conclusiones y recomendaciones partiendo de las discusiones de los resultados arrojados en la etapa anterior. La redacción del informe final se da durante las tres etapas de investigación, pero es en la última donde se intensifica más.

Figura 5

Diseño experimental del tratamiento de la muestra usando el floculante de cáscara de papa.

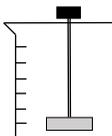
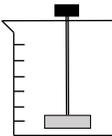
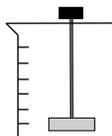
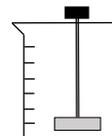
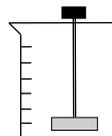
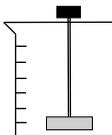
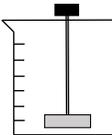
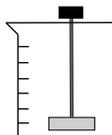
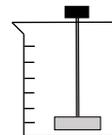
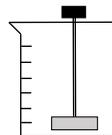
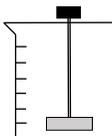
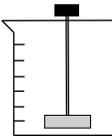
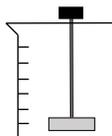
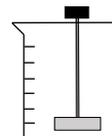
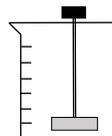
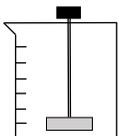
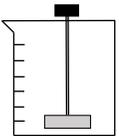
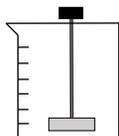
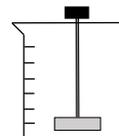
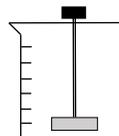
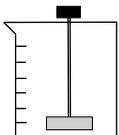
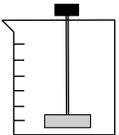
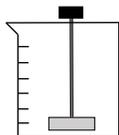
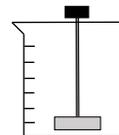
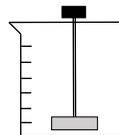
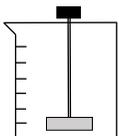
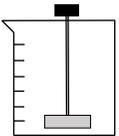
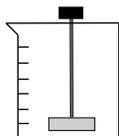
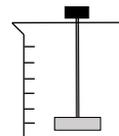
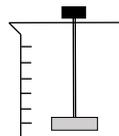
CORRIDA N°1					
					
Tiempo (min)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Dosis (gramos)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Velocidad de agitacion (RPM)	100	100	100	100	100
CORRIDA N°2					
					
Tiempo (min)	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Dosis (gramos)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Velocidad de agitacion (RPM)	100	100	100	100	100
CORRIDA N°3					
					
Tiempo (min)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Dosis (gramos)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Velocidad de agitacion (RPM)	100	100	100	100	100

Figura 6

Diseño experimental del tratamiento de la muestra usando el floculante de borra de café.

CORRIDA N°1					
					
Tiempo (min)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Dosis (gramos)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Velocidad de agitacion (RPM)	250	250	250	250	250
CORRIDA N°2					
					
Tiempo (min)	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Dosis (gramos)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Velocidad de agitacion (RPM)	250	250	250	250	250
CORRIDA N°3					
					
Tiempo (min)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Dosis (gramos)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Velocidad de agitacion (RPM)	250	250	250	250	250

3.7. Análisis de Datos

Las muestras de efluente recolectadas de la Industria Peletera Peruana S.A. para el presente estudio, fueron analizadas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Los resultados obtenidos se procesaron mediante la estadística descriptiva y la estadística inferencial aplicando la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y el Test de Tukey a través del software estadístico MINITAB, con el fin de comprobar las hipótesis.

Adicionalmente, se aplicaron los Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 003-2022-PRODUCE) para comparar los parámetros físico-químicos del efluente de la industria curtiembre.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización del efluente de la curtiembre

La caracterización de las muestras de efluentes de la curtiembre, fue realizada antes del tratamiento de coagulación - floculación, con la finalidad de determinar la efectividad de los floculantes naturales (cáscara de papa y borra de café).

Tabla 7

Parámetros del efluente de curtiembre

Parámetros	Unidad	Muestreo Inicial 08/08/2019	Decreto Supremo N° 003-2002- Produce
Potencial de Hidrógeno	pH	8.4	6 - 9
Temperatura	°C	25.5	< 35
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	860	500
Aceites y grasas	mg/L	251.4	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	2178.67	1500
Cromo Total	mg/L	56.54	2
Cromo Hexavalente (Cr⁺⁶)	mg/L	0	0.4

Como se observa en la Tabla 7, los parámetros temperatura, potencial de hidrogeno y cromo hexavalente cumplen los LMP de efluentes para alcantarillado, sin embargo, los parámetros solidos suspendidos totales, aceites y grasas, DQO y cromo total exceden a los LMP.

Tabla 8

Parámetros del efluente de curtiembre previo al tratamiento con los floculantes naturales.

Parámetro	Unidad	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo
		08/08/2019	22/08//2019	05/09/2019
Potencial de Hidrógeno	pH	8.4	7.6	7.8
Temperatura	° C	25.5	21.3	24.3
Cromo Total	mg/L	56.54	5.41	17.09

4.2. Determinación de dosis óptima

Para la obtención de los siguientes resultados se trabajó con un volumen de 500 ml y de velocidad de agitación de 100 RPM para el tratamiento de cáscara de papa y 250 RPM para el tratamiento de borra de café.

4.2.1. Dosis óptima de la cáscara de papa

Para encontrar la dosis óptima de la cáscara de papa se realizó tres tratamientos en el primer tratamiento se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 56.54 mg/L, un pH de 8.4 y una temperatura de 25.5 al cual se denominó Tratamiento 1. Por otro lado, el segundo tratamiento se realizó con una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 5.41 mg/L, un pH de 7.6 y una temperatura de 21.3 al cual se denominó Tratamiento 2 y el tercer tratamiento se realizó con una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 17.09 mg/L, un pH de 7.8 y una temperatura de 24.3 al cual se denominó Tratamiento 3

4.2.1.1. Tratamiento 1

En el tratamiento 1 se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 56.54 mg/L, un pH de 8.4 y una temperatura de 25.5 al cual se añadió cinco dosis diferentes de floculante (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos), y tres tiempos diferentes (15, 30 y 60 minutos), por lo cual se clasificó en Tratamiento 1A a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 15 minutos, Tratamiento 1B a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 30 minutos y Tratamiento 1C a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 60 minutos

4.2.1.1.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 1A)

Según la Tabla 9, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 15 minutos se alcanzó con la dosis de 2.0g llegando a una eficiencia de 41.96%.

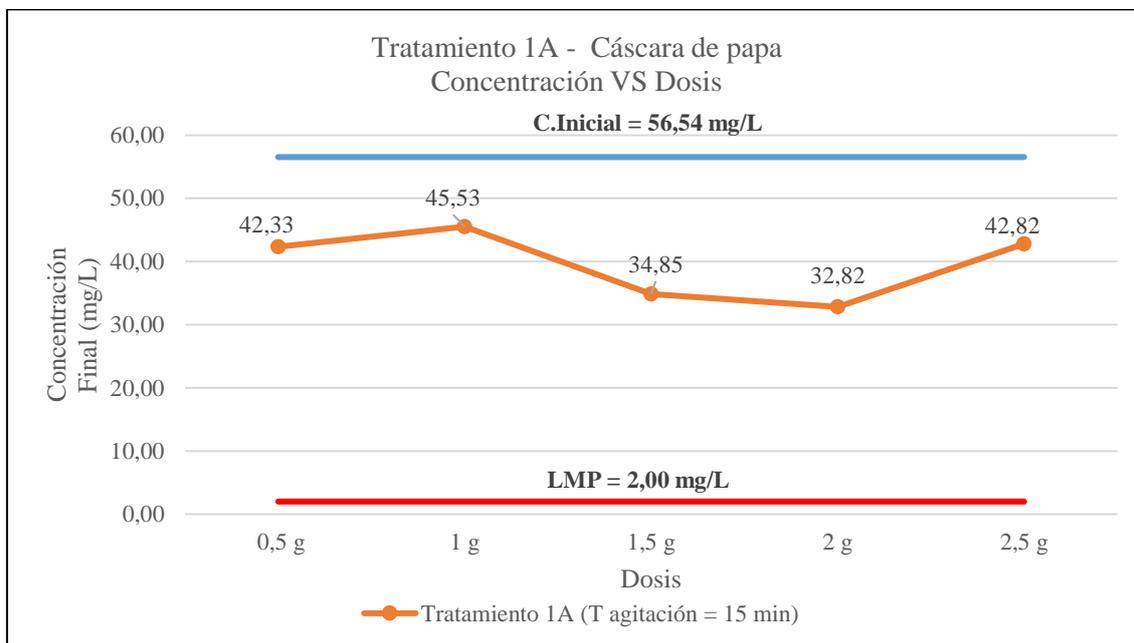
Tabla 9

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 1A)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			56.54		
Concentración final (mg/L)	42.33	45.53	34.85	32.82	42.82
% Eficiencia	25.13	19.48	38.37	41.96	24.27

Figura 7

Remoción de cromo en el Tratamiento 1A usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1A con una dosis de 2 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.1.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 1B)

En la Tabla 10, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 30 minutos se alcanzó con la dosis de 2.0g llegando a una eficiencia de 32.04%.

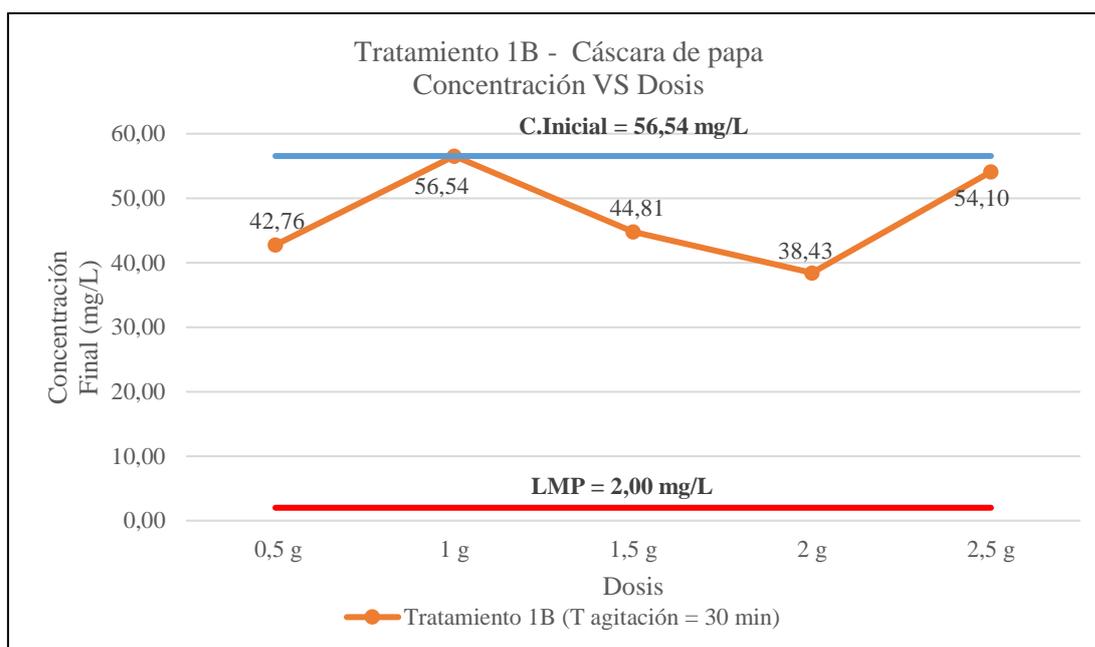
Tabla 10

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 1B)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			56.54		
Concentración final (mg/L)	42.76	56.54	44.81	38.42	54.10
% Eficiencia	24.37	0.0	20.75	32.04	4.32

Figura 8

Remoción de cromo en el Tratamiento 1B usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1B con una dosis de 2 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.1.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 1C)

Según la Tabla 11, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 60 minutos se alcanzó con la dosis de 0.5g llegando a una eficiencia de 17.38%.

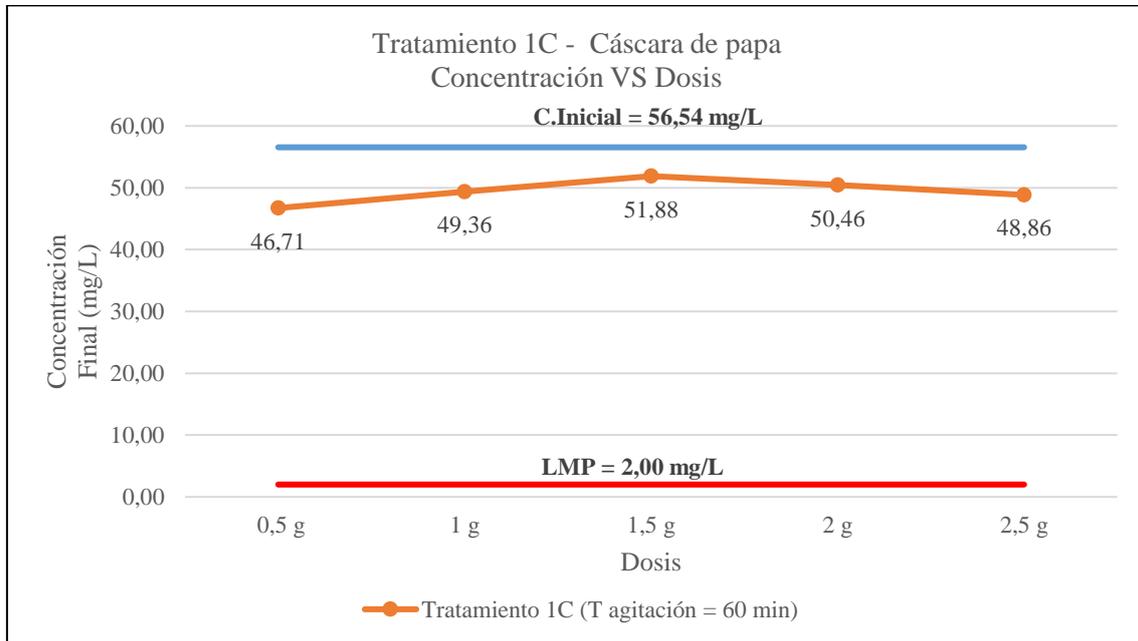
Tabla 11

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 1C)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			56.54		
Concentración final (mg/L)	46.71	49.36	51.88	50.46	48.86
% Eficiencia	17.38	12.71	8.25	10.76	13.59

Figura 9

Remoción de cromo en el Tratamiento 1C usando como floculante la cáscara de papa

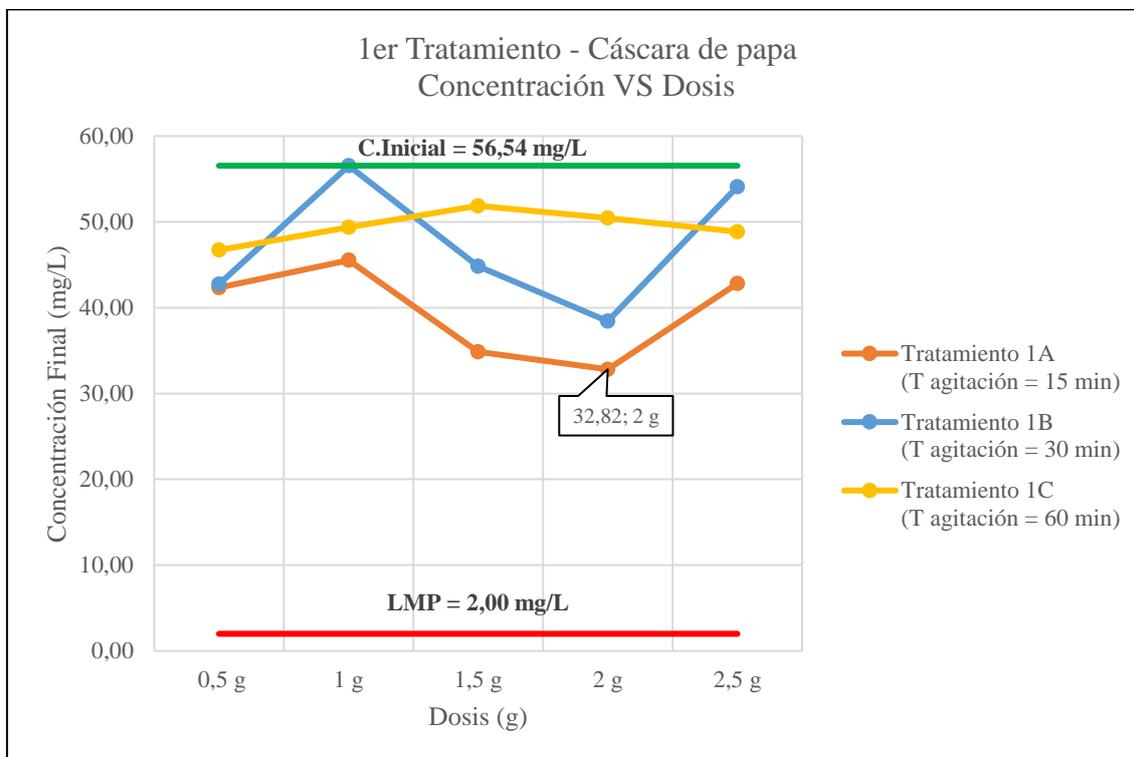


Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1C con una dosis de 0.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

En la Figura 10 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el Tratamiento 1A, Tratamiento 1B y Tratamiento 1C los cuales tenían un tiempo de agitación de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos respectivamente.

Figura 10

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1A (15 min de agitación) con una dosis de 2.0 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.2. Tratamiento 2

En el Tratamiento 2 se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 5.41, un pH de 7.6 y una temperatura de 21.3 al cual se añadió cinco dosis diferentes de floculante (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos) y tres tiempos diferentes (15, 30 y 60 minutos), por lo cual se clasificó en Tratamiento 2A a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 15 minutos, Tratamiento 2B a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 30 minutos y Tratamiento 2C a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 60 minutos.

4.2.1.2.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 2A)

En la Tabla 12 y la Figura 11, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 15 minutos se alcanzó con la dosis de 0.5g llegando a una eficiencia de 37.81%.

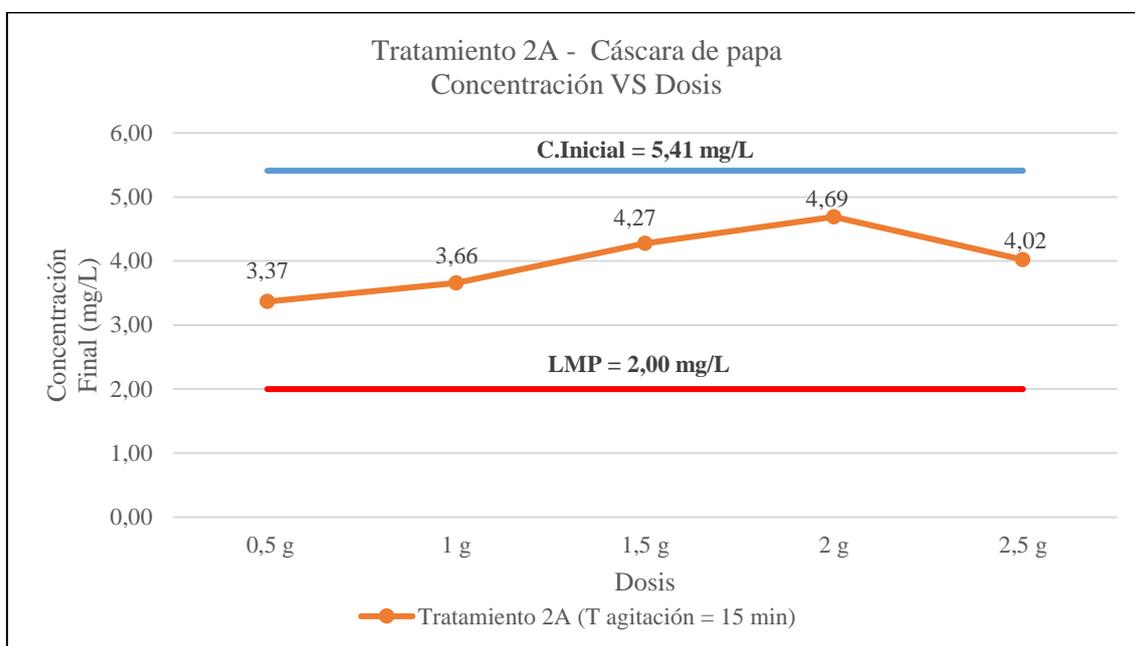
Tabla 12

Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 2A)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			5.41		
Concentración final (mg/L)	3.37	3.66	4.27	4.69	4.02
% Eficiencia	37.81	32.43	21.02	13.36	25.70

Figura 11

Remoción de cromo en el Tratamiento 2A usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2A con una dosis de 0.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.2.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 2B)

Según la Tabla 13 y la Figura 12, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 30 minutos se alcanzó con la dosis de 0.5g llegando a una eficiencia de 100 %.

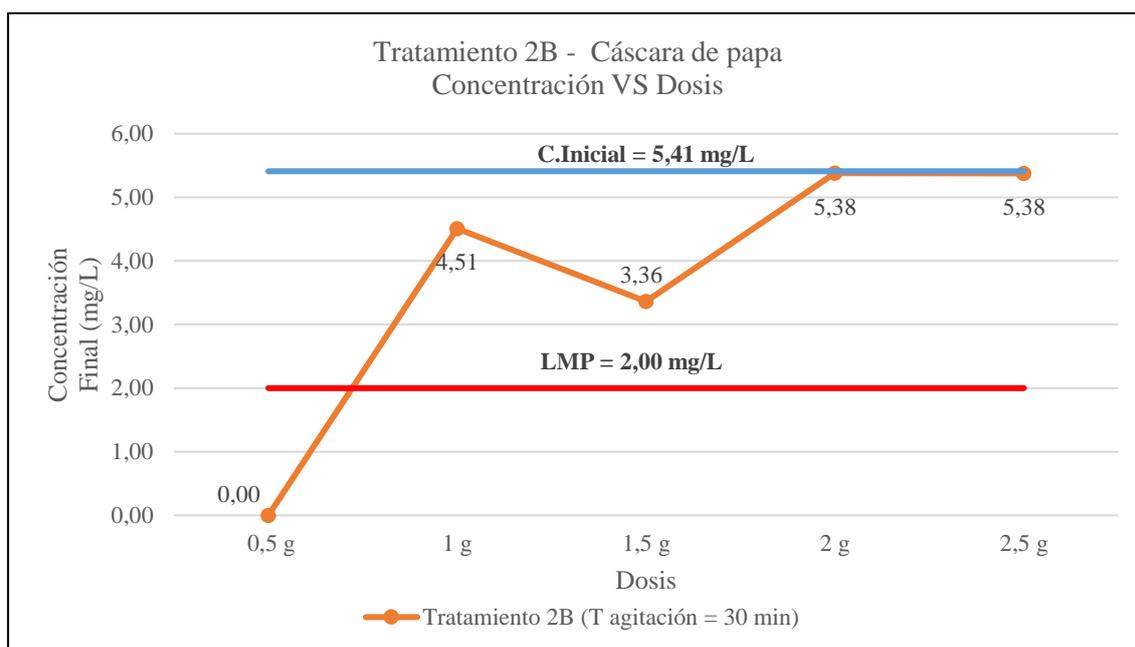
Tabla 13

Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 2B)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			5.41		
Concentración final (mg/L)	0.00	4.51	3.36	5.38	5.38
% Eficiencia	100	16.70	37.88	0.60	0.64

Figura 12

Remoción de cromo en el Tratamiento 2B usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2B con una dosis de 0.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.2.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 2C)

Según la Tabla 14 y Figura 13, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 60 minutos se alcanzó con la dosis de 1.0g llegando a una eficiencia de 83.20%.

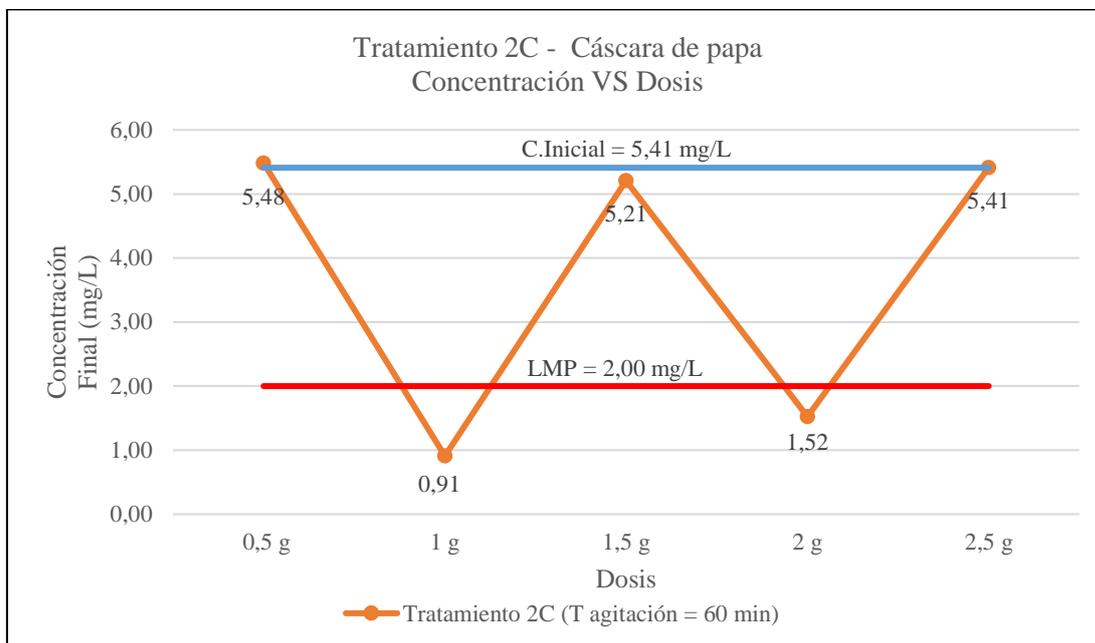
Tabla 14

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 2C)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			5.41		
Concentración final (mg/L)	5.41	0.91	5.21	1.52	5.41
% Eficiencia	0.0	83.20	3.83	71.87	0.0

Figura 13

Remoción de cromo en el Tratamiento 2C usando como floculante la cáscara de papa

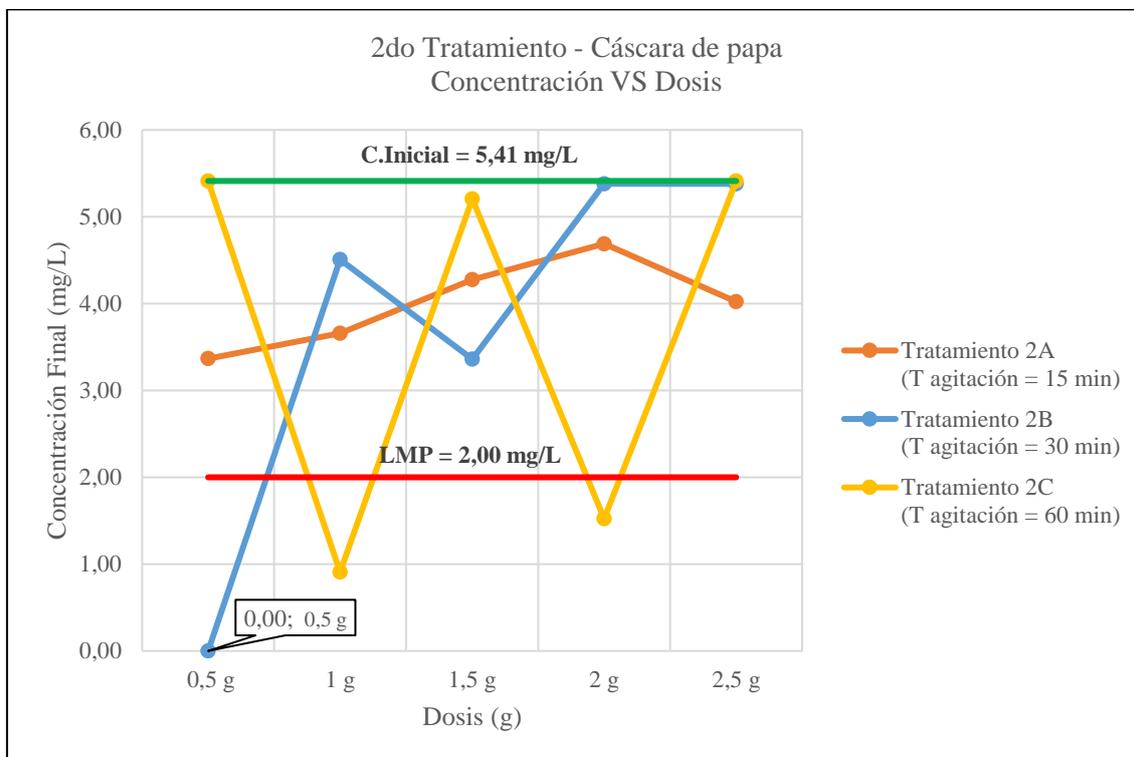


Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2C con una dosis de 1.0 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

En la Figura 14 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el Tratamiento 2A, Tratamiento 2B y Tratamiento 2C los cuales tenían un tiempo de agitación de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos respectivamente.

Figura 14

Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2B (30 min de agitación) con una dosis de 0.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.3. Tratamiento 3

En el Tratamiento 3 se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 17.09, un pH de 7.8 y una temperatura de 24.3 al cual se añadió cinco dosis diferentes de floculante (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos) y tres tiempos diferentes (15, 30 y 60 minutos), por lo cual se clasificó en Tratamiento 3A a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 15 minutos, Tratamiento 3B a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 30 minutos y Tratamiento 3C a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 60 minutos.

4.2.1.3.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 3A)

En la Tabla 15 y la Figura 15, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 15 minutos se alcanzó con la dosis de 2.5g llegando a una eficiencia de 64.58%.

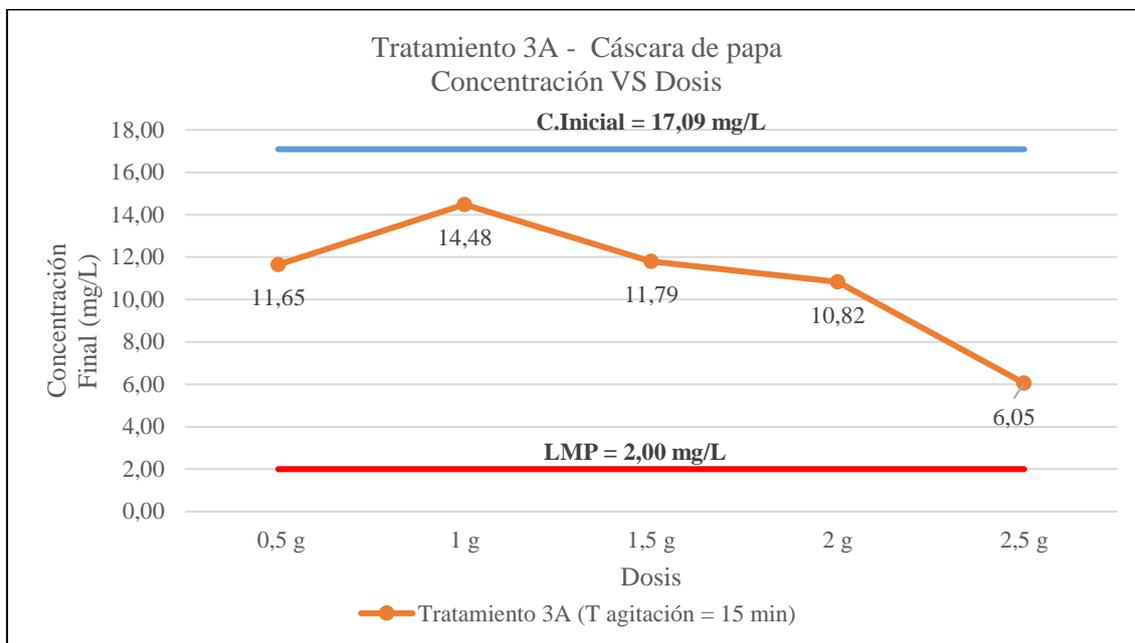
Tabla 15

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 3A)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			17.09		
Concentración final (mg/L)	11.65	14.48	11.79	10.82	6.05
% Eficiencia	31.85	15.26	30.99	36.67	64.58

Figura 15

Remoción de cromo en el Tratamiento 3A usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3A con una dosis de 2.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.3.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 3B)

Según la Tabla 16 y la Figura 16, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 30 minutos se alcanzó con la dosis de 1.0g llegando a una eficiencia de 100 %.

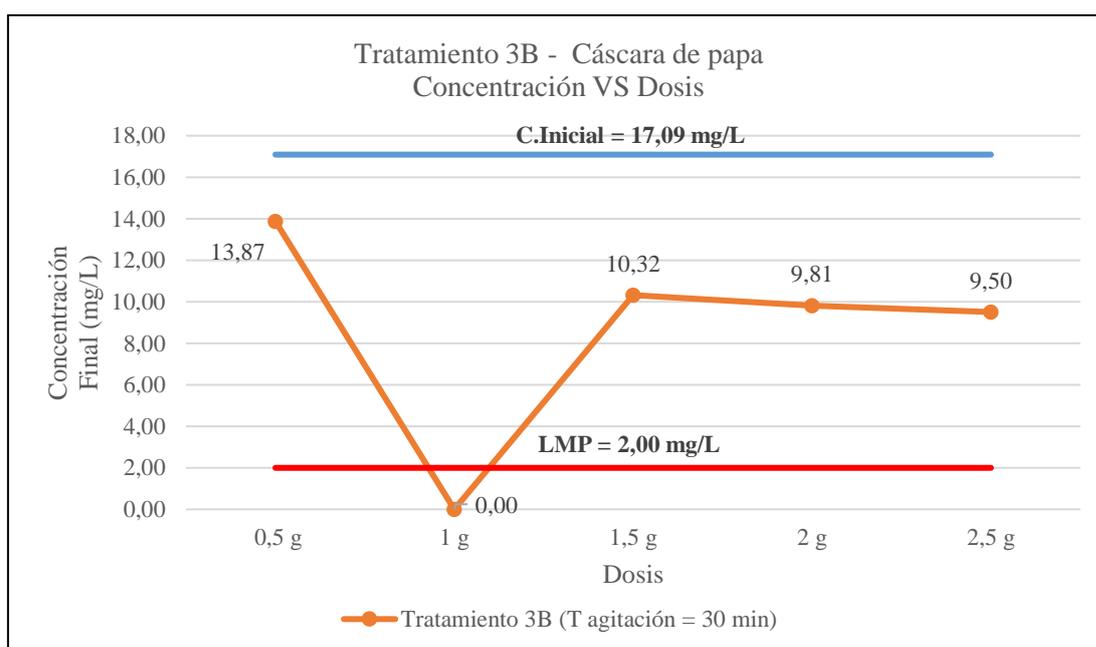
Tabla 16

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 3B)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			17.09		
Concentración final (mg/L)	13.87	0.00	10.32	9.81	9.50
% Eficiencia	18.83	100.00	39.62	42.58	44.42

Figura 16

Remoción de cromo en el Tratamiento 3B usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3 B con una dosis de 1.0 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.1.3.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 3C)

Según la Tabla 17 y Figura 17, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la cáscara de papa y un tiempo de agitación de 60 minutos se alcanzó con la dosis de 1.0g llegando a una eficiencia de 100%.

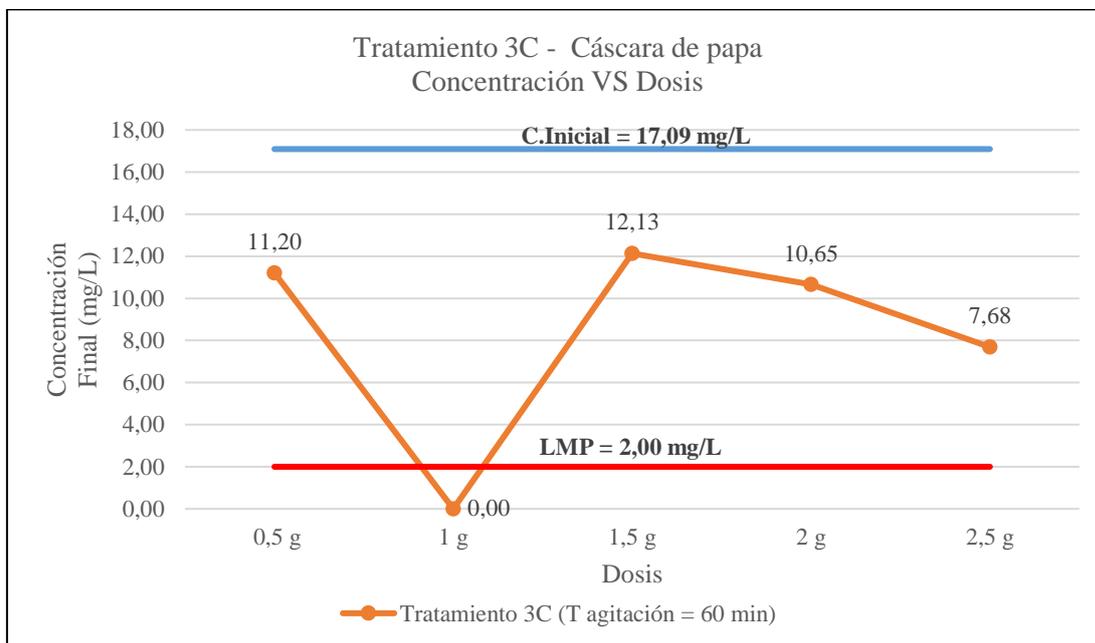
Tabla 17

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 3C)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			17.09		
Concentración final (mg/L)	11.20	0.00	12.13	10.65	7.68
% Eficiencia	34.46	100.00	29.00	37.67	55.03

Figura 17

Remoción de cromo en el Tratamiento 3C usando como floculante la cáscara de papa

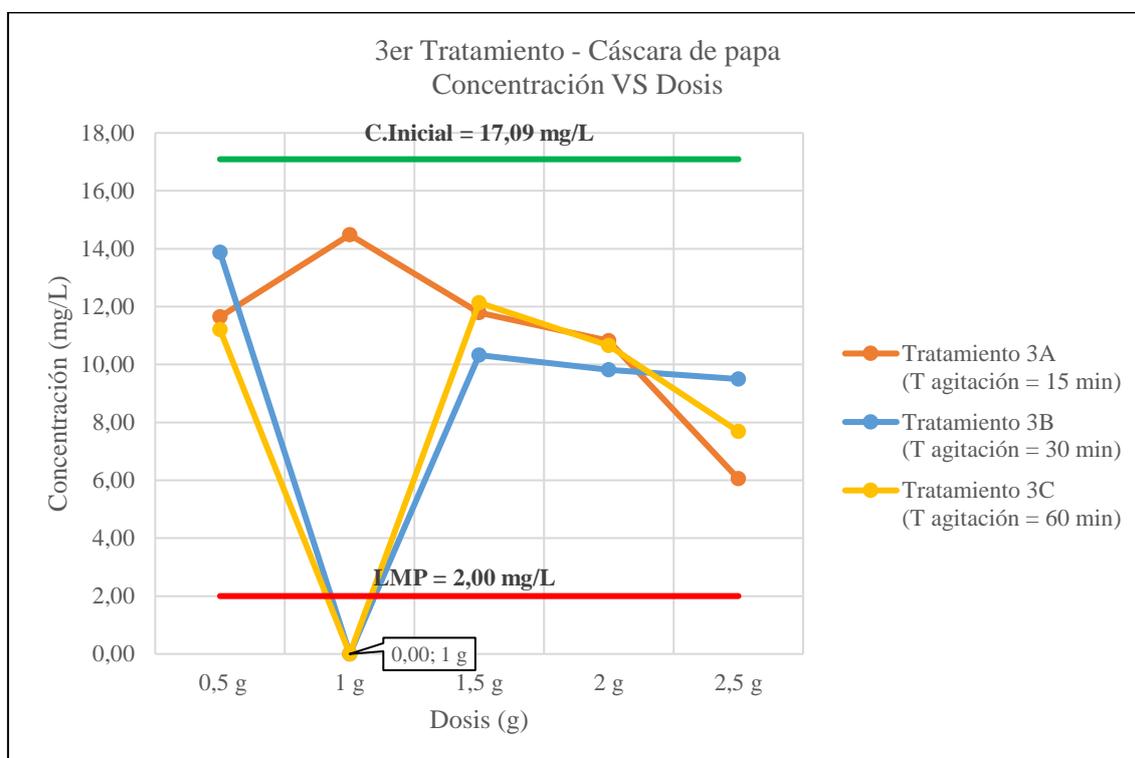


Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3C con una dosis de 1.0 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

En la Figura 18 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el Tratamiento 3A, Tratamiento 3B y Tratamiento 3C los cuales tenían un tiempo de agitación de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos respectivamente.

Figura 18

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la cáscara de papa



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3B (30 min de agitación) con una dosis de 1.0 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2. Dosis óptima de la borra de café

Para encontrar la dosis óptima de la borra de café se realizó tres tratamientos en el primer tratamiento se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 56.54 mg/L, un pH de 8.4 y una temperatura de 25.5 al cual se denominó Tratamiento 1. Por otro lado, el segundo tratamiento se realizó con una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 5.41 mg/L, un pH de 7.6 y una temperatura de 21.3 al cual se denominó Tratamiento 2 y el tercer tratamiento se realizó con una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 17.09 mg/L, un pH de 7.8 y una temperatura de 24.3 al cual se denominó Tratamiento 3

4.2.2.1. Tratamiento 1

En el tratamiento 1 se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 56.54 mg/L, un pH de 8.4 y una temperatura de 25.5 al cual se añadió cinco dosis diferentes de floculante (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos), y tres tiempos diferentes (15, 30 y 60 minutos), por lo cual se clasificó en Tratamiento 1A a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 15 minutos, Tratamiento 1B a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 30 minutos y Tratamiento 1C a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 60 minutos

4.2.2.1.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 1A)

Según la Tabla 18 y la Figura 19, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 15 minutos se alcanzó con la dosis de 2.0g llegando a una eficiencia de 21.89%.

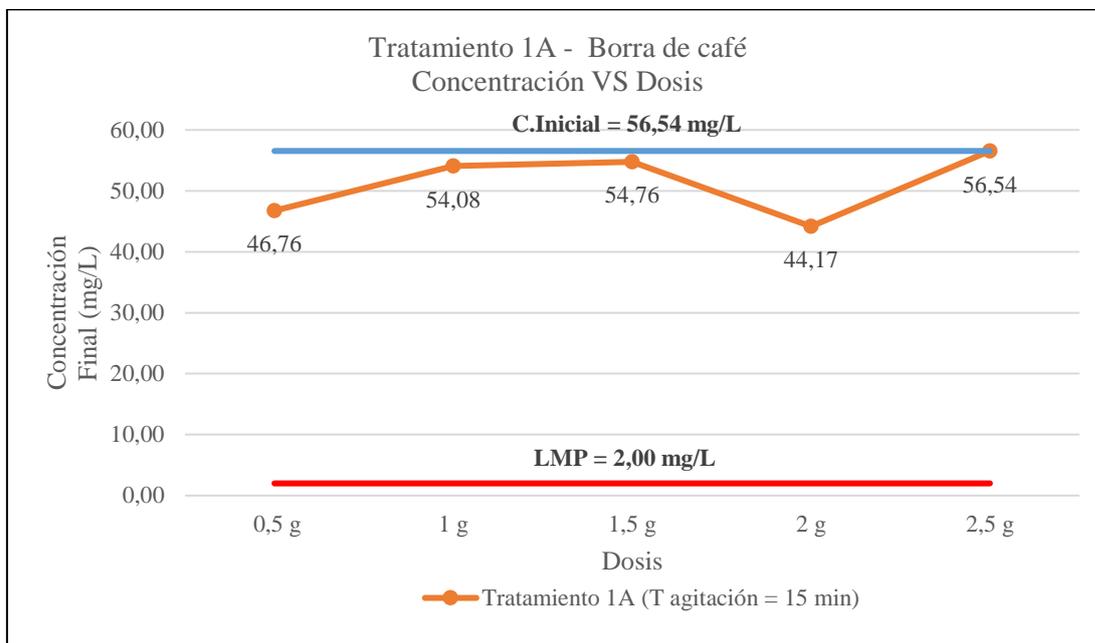
Tabla 18

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 1A)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			56.54		
Concentración final (mg/L)	46.76	54.08	54.76	44.17	56.54
% Eficiencia	17.31	4.35	3.16	21.89	0.00

Figura 19

Remoción de cromo en el Tratamiento 1A usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1A con una dosis de 2 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.1.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 1B)

En la Tabla 19 y la Figura 20, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 30 minutos se alcanzó con la dosis de 0.5g llegando a una eficiencia de 30.73%.

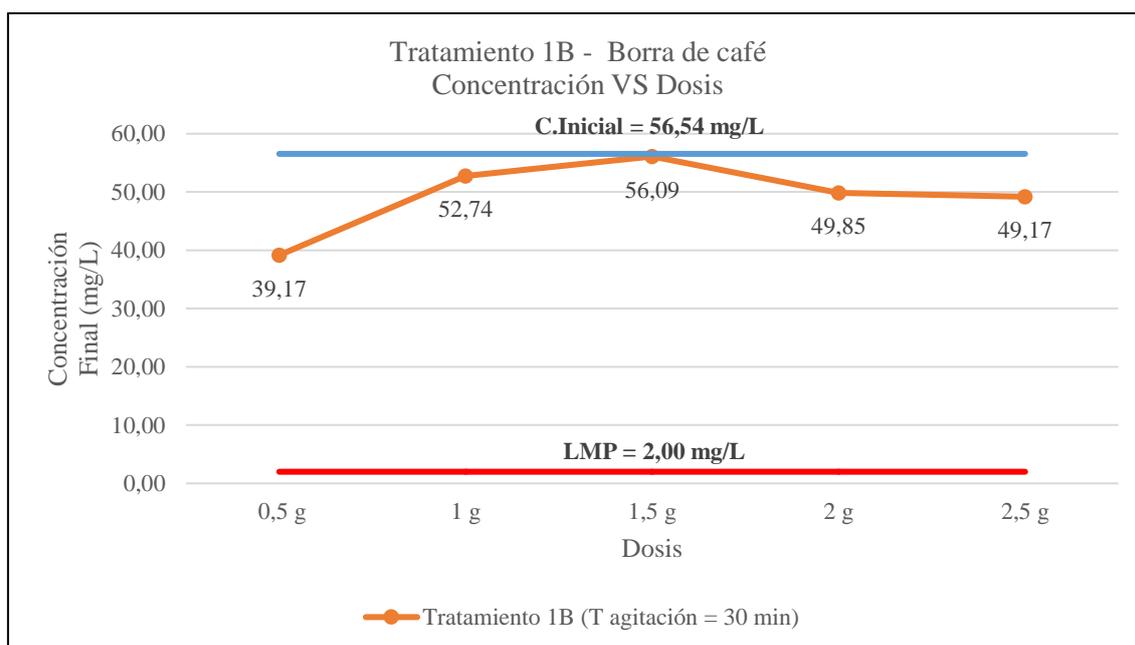
Tabla 19

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 1B)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			56.54		
Concentración final (mg/L)	39.17	52.74	56.09	49.85	49.17
% Eficiencia	30.73	6.73	0.80	11.84	13.04

Figura 20

Remoción de cromo en el Tratamiento 1B usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1B con una dosis de 0.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.1.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 1C)

En la Tabla 20 y Figura 21, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 60 minutos se alcanzó con la dosis de 1.5g llegando a una eficiencia de 31.33%.

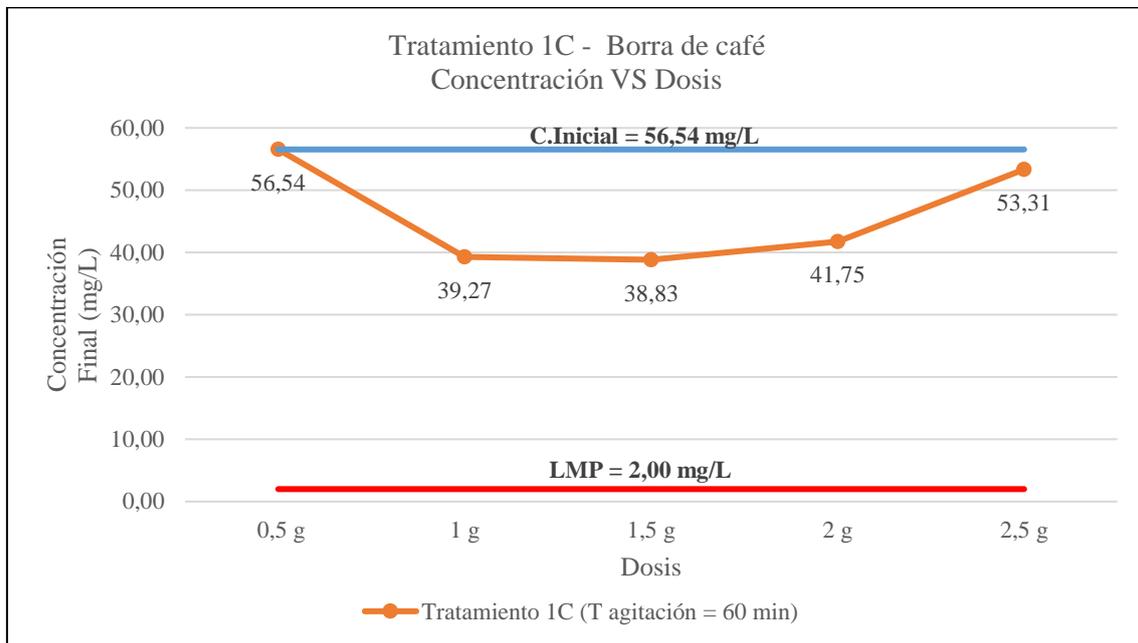
Tabla 20

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 1C)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			56.54		
Concentración final (mg/L)	56.54	39.27	38.83	41.75	53.31
% Eficiencia	0.00	30.54	31.33	26.17	5.72

Figura 21

Remoción de cromo en el Tratamiento 1C usando como floculante la borra de café

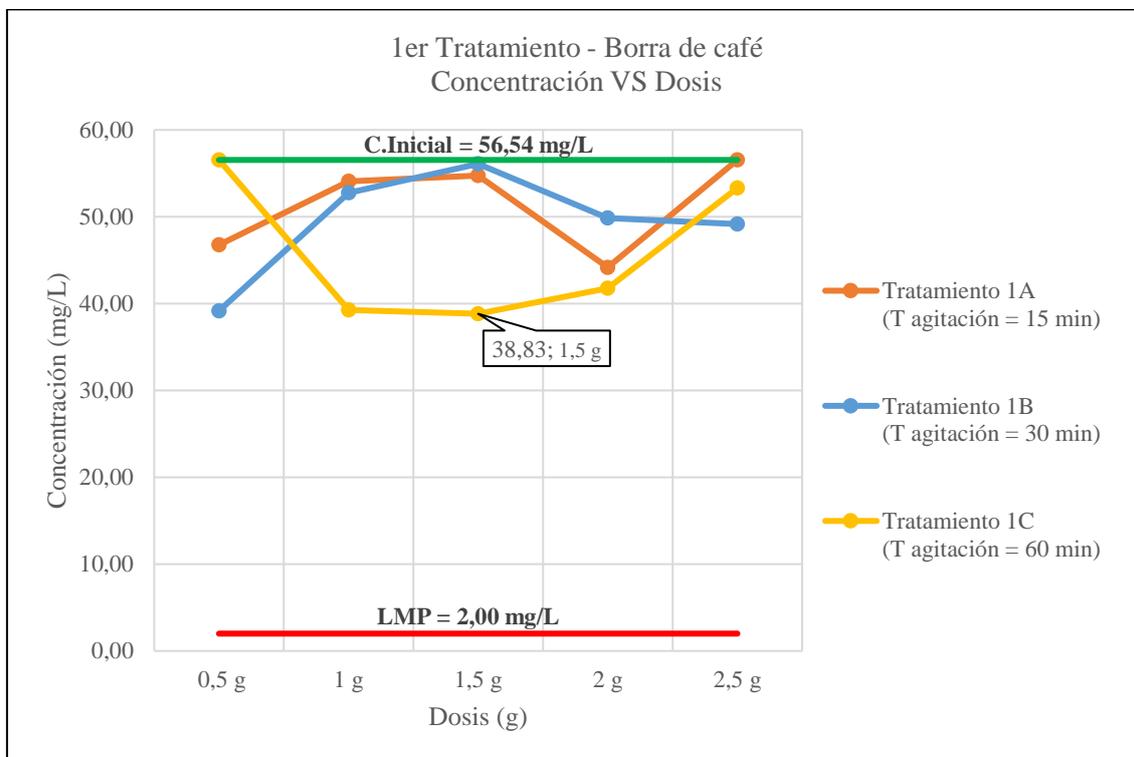


Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1C con una dosis de 1.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

En la Figura 22 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el Tratamiento 1A, Tratamiento 1B y Tratamiento 1C los cuales tenían un tiempo de agitación de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos respectivamente.

Figura 22

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 1C (60 min de agitación) con una dosis de 1.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.2. Tratamiento 2

En el Tratamiento 2 se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 5.41, un pH de 7.6 y una temperatura de 21.3 al cual se añadió cinco dosis diferentes de floculante (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos) y tres tiempos diferentes (15, 30 y 60 minutos), por lo cual se clasificó en Tratamiento 2A a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 15 minutos, Tratamiento 2B a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 30 minutos y Tratamiento 2C a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 60 minutos

4.2.2.2.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 2A)

En la Tabla 21 y la Figura 23, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 15 minutos se alcanzó con la dosis de 2.5g llegando a una eficiencia de 100%.

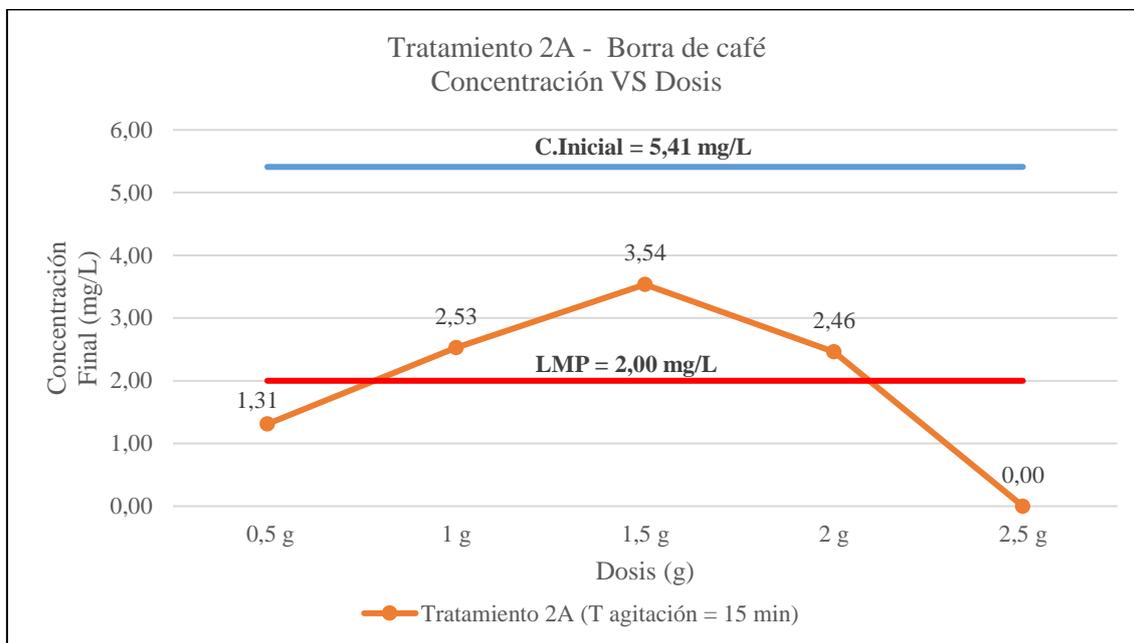
Tabla 21

Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 2A)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			5.41		
Concentración final (mg/L)	1.31	2.53	3.54	2.46	0.00
% Eficiencia	75.80	53.33	34.67	54.49	100.00

Figura 23

Remoción de cromo en el Tratamiento 2A usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2A con una dosis de 2.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.2.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 2B)

Según la Tabla 22 y la Figura 24, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 30 minutos se alcanzó con la dosis de 2.5g llegando a una eficiencia de 100 %.

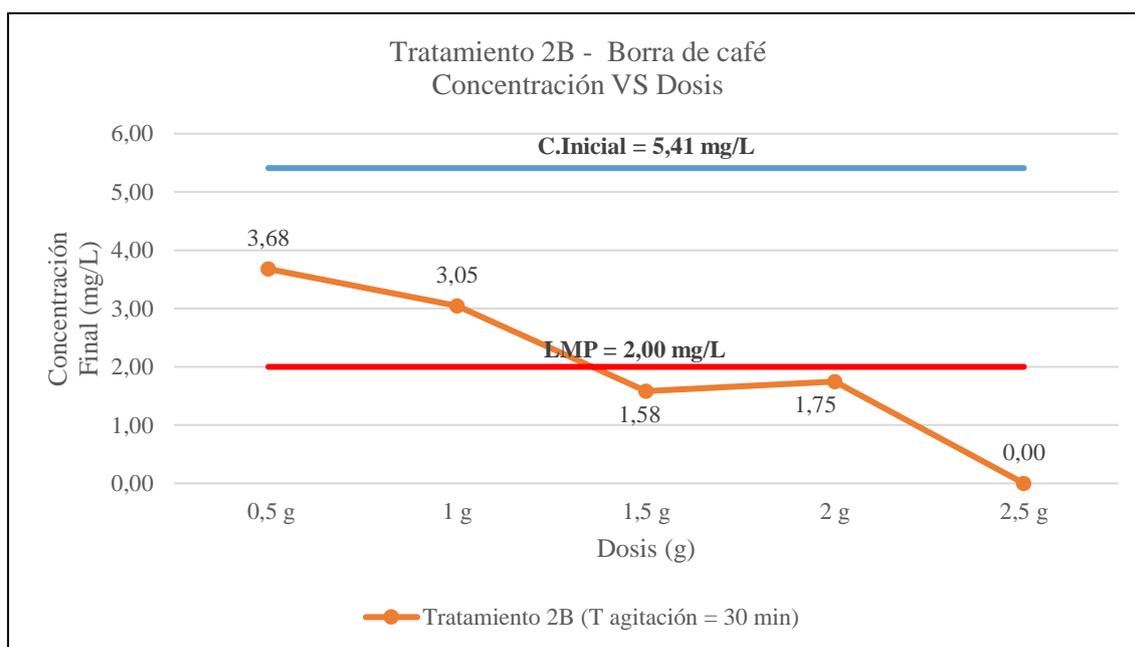
Tabla 22

Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 2B)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			5.41		
Concentración final (mg/L)	3.68	3.05	1.58	1.75	0.00
% Eficiencia	32.02	43.69	70.75	67.72	100.00

Figura 24

Remoción de cromo en el Tratamiento 2B usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2B con una dosis de 2.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.2.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 2C)

Según la Tabla 23 y Figura 25, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 60 minutos se alcanzó con la dosis de 0.5g llegando a una eficiencia de 100%.

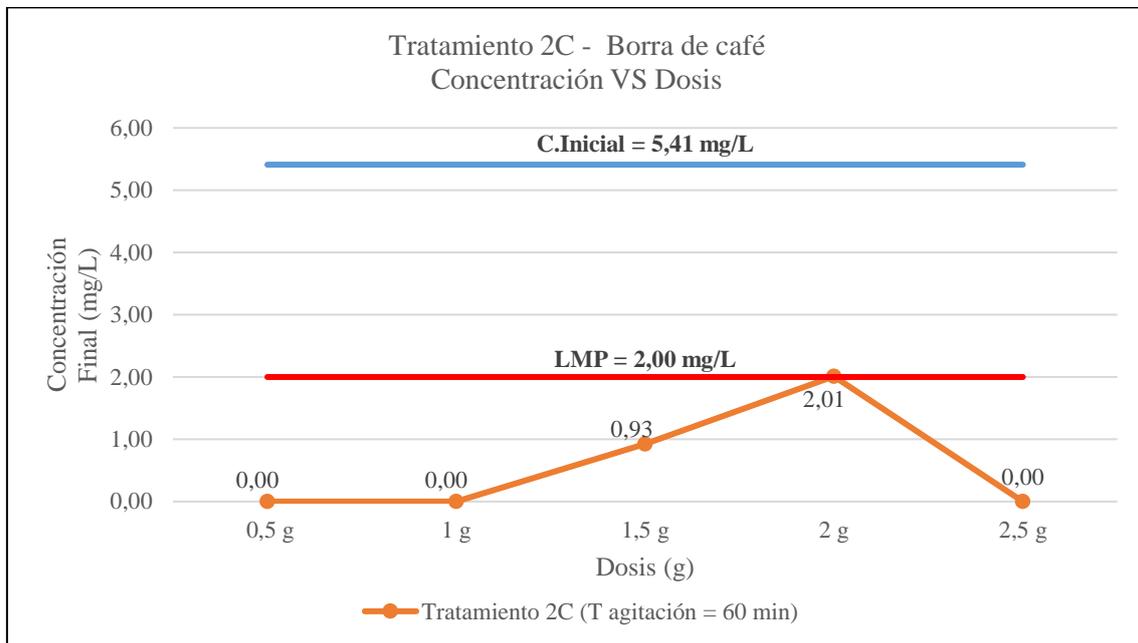
Tabla 23

Remoción de cromo en el 1er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 2C)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			5.41		
Concentración final (mg/L)	0.00	0.00	0.93	2.01	0.00
% Eficiencia	100.00	100.00	82.90	62.85	100.00

Figura 25

Remoción de cromo en el Tratamiento 2C usando como floculante la borra de café

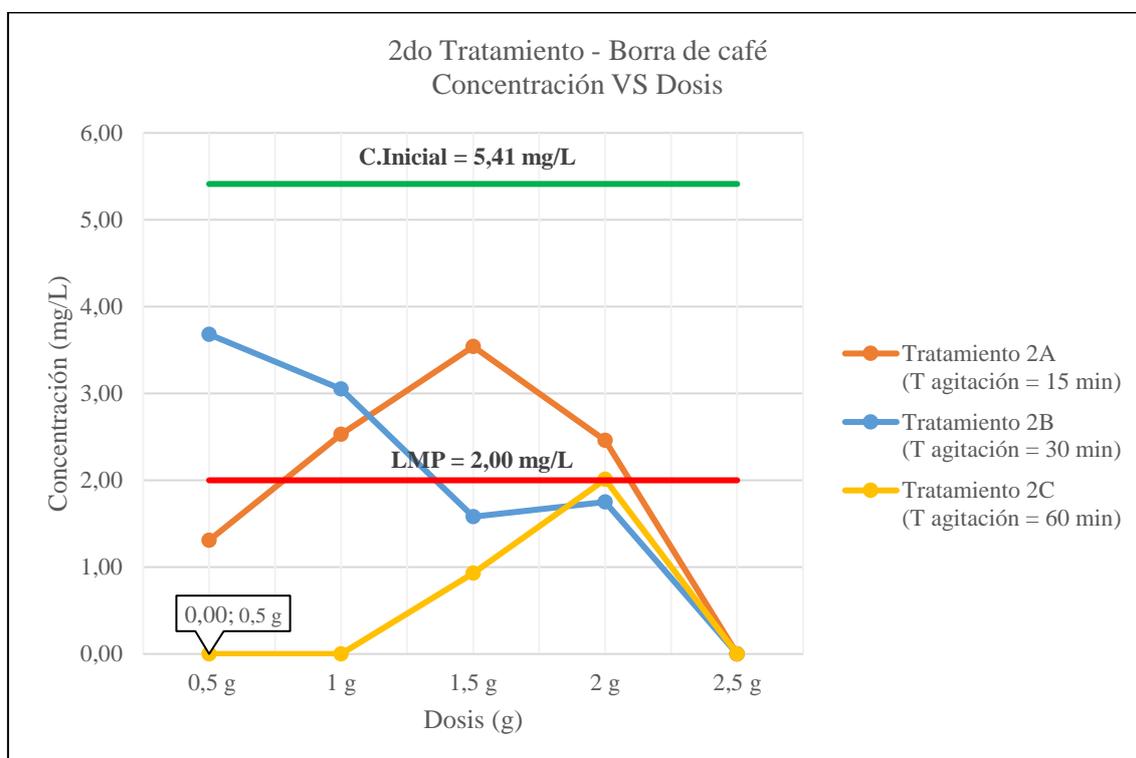


Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2C con una dosis de 0.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

En la Figura 26 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el Tratamiento 2A, Tratamiento 2B y Tratamiento 2C los cuales tenían un tiempo de agitación de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos respectivamente.

Figura 26

Remoción de cromo en el 2do tratamiento usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 2C (60 min de agitación) con una dosis de 0.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.3. Tratamiento 3

En el Tratamiento 3 se tuvo una muestra de efluente cuya concentración de cromo total fue de 17.09, un pH de 7.8 y una temperatura de 24.3 al cual se añadió cinco dosis diferentes de floculante (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos) y tres tiempos diferentes (15, 30 y 60 minutos), por lo cual se clasificó en Tratamiento 3A a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 15 minutos, Tratamiento 3B a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 30 minutos y Tratamiento 3C a la corrida que tuvo un tiempo de agitación de 60 minutos.

4.2.2.3.1. Tratamiento para 15 minutos (Tratamiento 3A)

En la Tabla 24 y la Figura 27, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 15 minutos se alcanzó con la dosis de 2.0g llegando a una eficiencia de 83.72%.

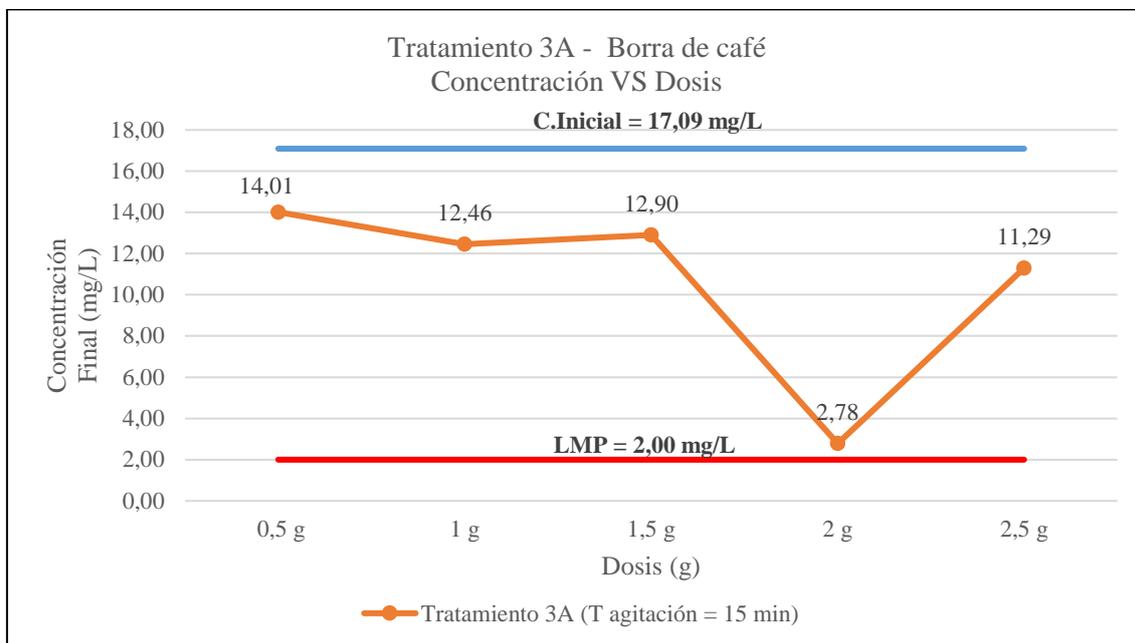
Tabla 24

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 15 minutos (Tratamiento 3A)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			17.09		
Concentración final (mg/L)	14.01	12.46	12.90	2.78	11.29
% Eficiencia	18.02	27.12	24.52	83.72	33.96

Figura 27

Remoción de cromo en el Tratamiento 3A usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3A con una dosis de 2.0 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.3.2. Tratamiento para 30 minutos (Tratamiento 3B)

Según la Tabla 25 y la Figura 28, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 30 minutos se alcanzó con la dosis de 2.5g llegando a una eficiencia de 67.29 %.

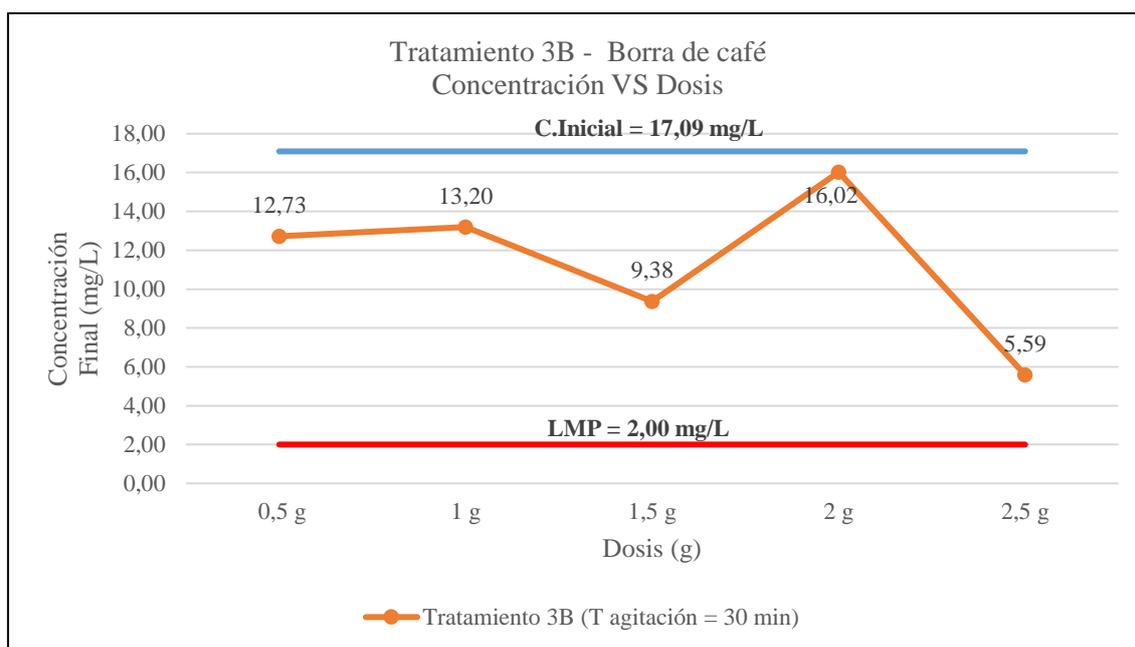
Tabla 25

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 30 minutos (Tratamiento 3B)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			17.09		
Concentración final (mg/L)	12.73	13.20	9.38	16.02	5.59
% Eficiencia	25.53	22.78	45.14	6.25	67.29

Figura 28

Remoción de cromo en el Tratamiento 3B usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3 B con una dosis de 2.5 gramos, sin embargo, no se logra alcanzar el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.2.2.3.3. Tratamiento para 60 minutos (Tratamiento 3C)

Según la Tabla 26 y Figura 29, se aprecia que la mayor eficiencia de remoción de cromo usando como floculante natural la borra de café y un tiempo de agitación de 60 minutos se alcanzó con la dosis de 2.5g llegando a una eficiencia de 100%.

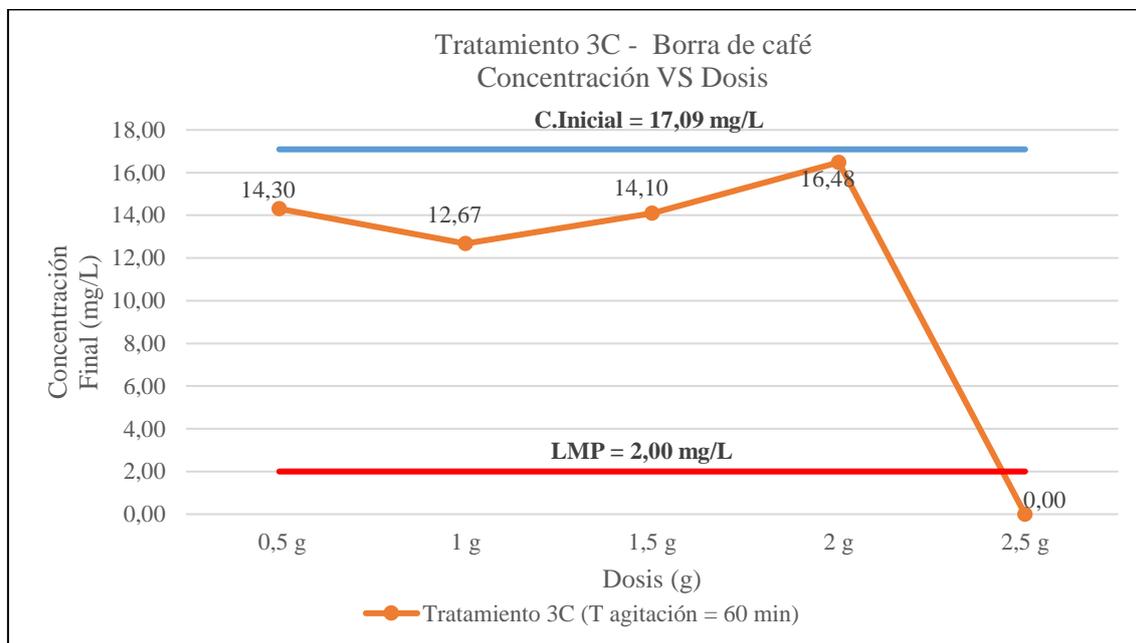
Tabla 26

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café y un tiempo de 60 minutos (Tratamiento 3C)

Dosis	0.5 g	1.0g	1.5g	2.0g	2.5g
Concentración inicial (mg/L)			17.09		
Concentración final (mg/L)	14.30	12.67	14.10	16.48	0.00
% Eficiencia	16.33	25.85	17.49	3.58	100.00

Figura 29

Remoción de cromo en el Tratamiento 3C usando como floculante la borra de café

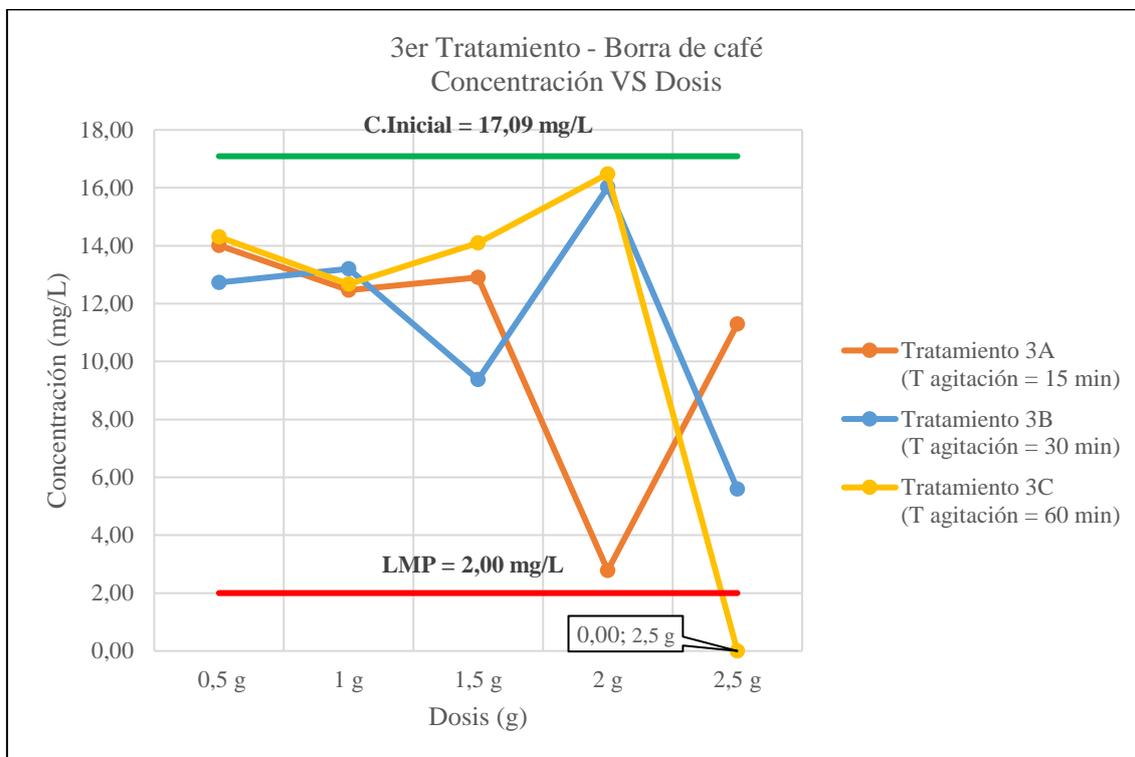


Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3C con una dosis de 2.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

En la Figura 30 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el Tratamiento 3A, Tratamiento 3B y Tratamiento 3C los cuales tenían un tiempo de agitación de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos respectivamente.

Figura 30

Remoción de cromo en el 3er tratamiento usando como floculante la borra de café



Nota. Se logra reducir la mayor concentración de cromo en el Tratamiento 3C (60 min de agitación) con una dosis de 2.5 gramos, cumpliendo el LMP establecido mediante el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para el efluente vertido al alcantarillado del subsector curtiembre.

4.3. Comprobación Estadística de los Resultados

Para poder analizar estadísticamente los datos obtenidos en los resultados de la investigación se agrupa de la siguiente manera según los parámetros a tomar en cuenta en la investigación:

4.3.1. Eficiencia de la cáscara de papa

Ordenamiento de datos de resultados obtenidos de tratamiento de floculante con cáscara de papa para la remoción de Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre:

Tabla 27

Agrupación de Resultados de la aplicación de floculante con cáscara de papa para remover Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre.

Tratamiento	Tiempo de dosificación	Dosis	Concentración de Cr III (mg/l)	Eficiencia (%)	Concentraciones iniciales de Cr III (mg/l)
T1	TD1	D1	42.33	25.13	56.54
T1	TD1	D2	45.53	19.47	56.54
T1	TD1	D3	34.85	38.36	56.54
T1	TD1	D4	32.82	41.95	56.54
T1	TD1	D5	42.82	24.27	56.54
T1	TD2	D1	42.76	24.37	56.54
T1	TD2	D2	56.54	0.00	56.54
T1	TD2	D3	44.81	20.75	56.54
T1	TD2	D4	38.42	32.05	56.54
T1	TD2	D5	54.1	4.32	56.54
T1	TD3	D1	46.71	17.39	56.54
T1	TD3	D2	49.36	12.70	56.54
T1	TD3	D3	51.88	8.24	56.54
T1	TD3	D4	50.46	10.75	56.54
T1	TD3	D5	48.86	13.58	56.54
T2	TD1	D1	3.37	37.71	5.41
T2	TD1	D2	3.66	32.35	5.41
T2	TD1	D3	4.27	21.07	5.41
T2	TD1	D4	4.69	13.31	5.41
T2	TD1	D5	4.02	25.69	5.41
T2	TD2	D1	0.00	100.00	5.41
T2	TD2	D2	4.51	16.64	5.41
T2	TD2	D3	3.36	37.89	5.41
T2	TD2	D4	5.38	0.55	5.41
T2	TD2	D5	5.38	0.55	5.41
T2	TD3	D1	5.41	0.00	5.41
T2	TD3	D2	0.91	83.18	5.41
T2	TD3	D3	5.21	3.70	5.41
T2	TD3	D4	1.52	71.90	5.41
T2	TD3	D5	5.41	0.00	5.41
T3	TD1	D1	11.65	31.86	17.09
T3	TD1	D2	14.48	15.27	17.09
T3	TD1	D3	11.79	31.01	17.09
T3	TD1	D4	10.82	36.69	17.09
T3	TD1	D5	6.05	64.60	17.09
T3	TD2	D1	13.87	18.84	17.09
T3	TD2	D2	0.00	100.00	17.09

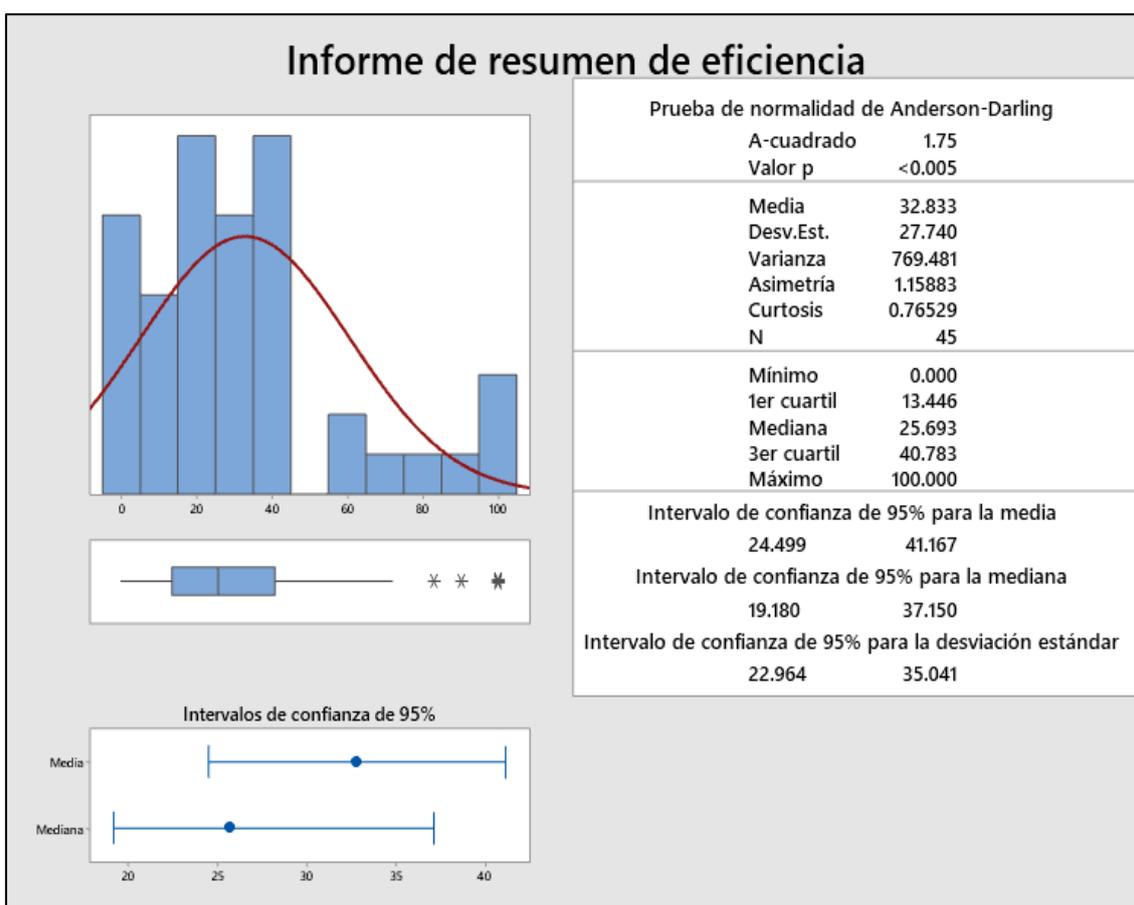
T3	TD2	D3	10.32	39.61	17.09
T3	TD2	D4	9.81	42.60	17.09
T3	TD2	D5	9.5	44.41	17.09
T3	TD3	D1	11.2	34.46	17.09
T3	TD3	D2	0.00	100.00	17.09
T3	TD3	D3	12.13	29.02	17.09
T3	TD3	D4	10.65	37.68	17.09
T3	TD3	D5	7.68	55.06	17.09

Nota. Elaboración Propia

De lo cual se observa que las concentraciones iniciales son diferentes no pudiendo agruparlas estadísticamente y procediendo a agrupar los datos de resultado de eficiencia obteniendo los siguientes parámetros estadísticos descriptivos:

Figura 31

Análisis descriptivos de los resultados obtenidos de la aplicación de floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente (III) en aguas residuales de curtiembre.



Nota. Se puede apreciar que la media y la mediana tienden a una inclinación hacia la izquierda presentando una tendencia de movilidad entre media y mediana, también presentando resultados atípicos de eficiencia lo que permite inferir que la distribución de los datos es una distribución no normal o asimétrica presentando una desviación estándar muy cercana a la media presentando un error de agrupación en la desviación estándar pero esto se obtiene por el tipo de proceso realizado para obtener los datos y cuantificar sus resultados. Elaborado en MINITAB versión 19.

Para determinar el Diseño Completamente al Azar (DCA) mostrado en la Tabla 27 sobre la aplicación del floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre se realizaron los siguientes pasos:

4.3.1.1. Prueba de la Normalidad

De las eficiencias obtenidas aplicando floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente.

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

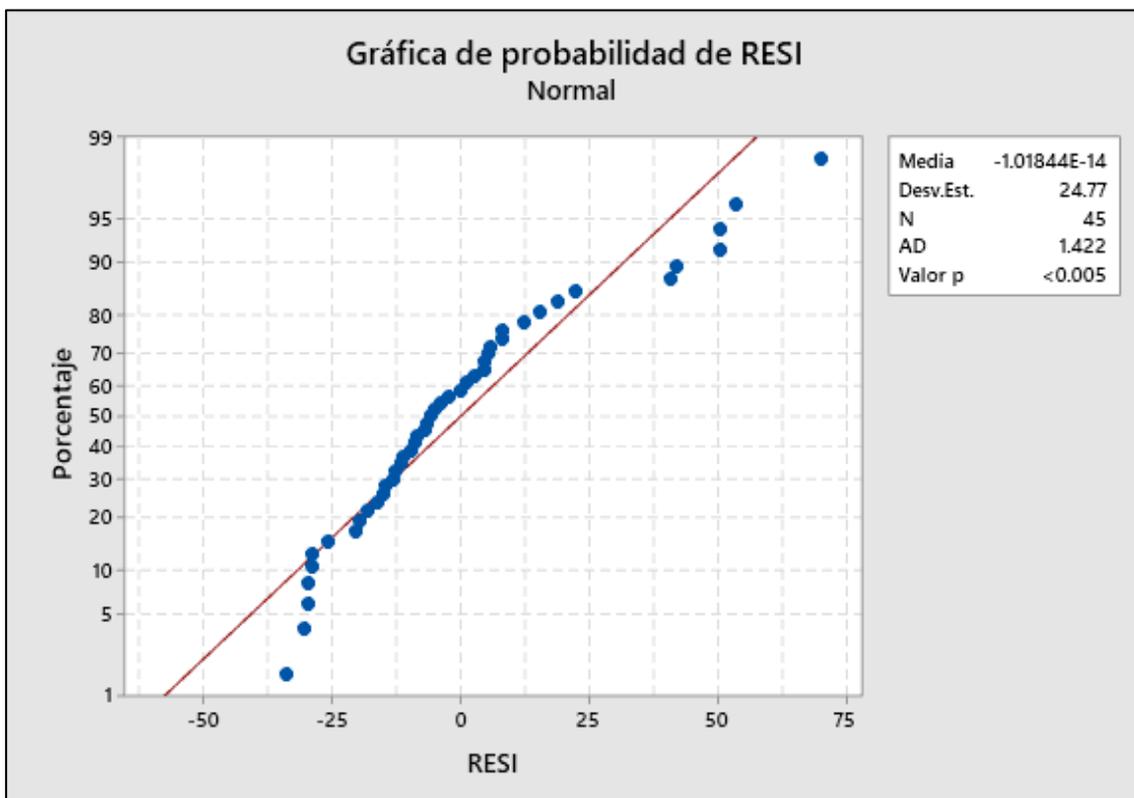
Se aplican los siguientes argumentos:

H₀: Los residuos se distribuyen normalmente

H_a: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 32

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para verificar la distribución de las eficiencias obtenidas de aplicar floculante con cáscara de papa para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado se obtiene que el valor $p < 0.05$ como también el indicador (AD= 1.422) por consiguiente se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos no presentan una distribución Normal.

4.3.1.2. Homogeneidad de Varianzas

Se plantea las siguientes premisas:

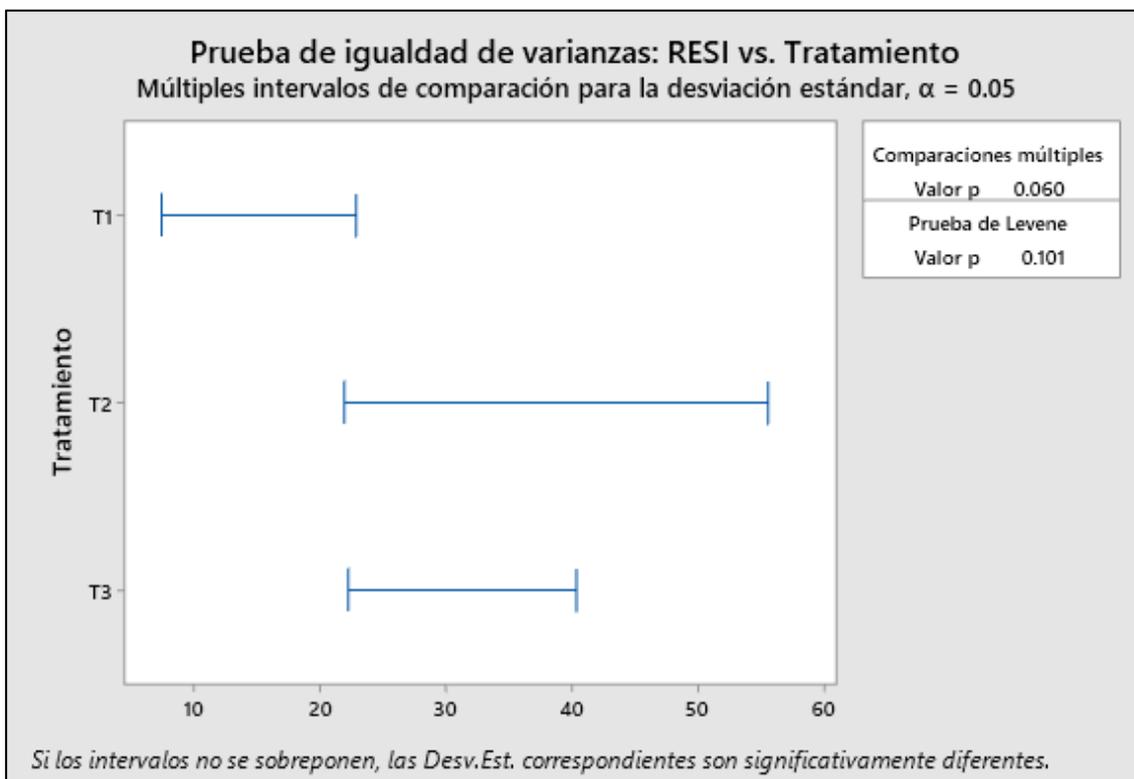
H0: Las varianzas son iguales (homogeneidad de varianzas)

Ha: Al menos una varianza es diferente

Para las eficiencias obtenidas aplicando la prueba de Levene se tiene:

Figura 33

Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Levene para las eficiencias obtenidas de la aplicación del tratamiento con floculante con cáscara de papa.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

Calculando el índice de Levene = 2.42 y p valor = 0.101 > 0.05, se acepta la hipótesis nula por consiguiente con un 5% de significancia se acepta el supuesto de homogeneidad de varianzas.

4.3.1.3. Prueba hipótesis DCA

Al menos una eficiencia presenta características positivas en la remoción Cromo Trivalente aplicando floculante a base de cáscara de papa en aguas residuales de curtiembre.

H₀: Todas las medianas de las eficiencias son iguales

H_a: Al menos una mediana de las eficiencias es diferente

Teniendo en cuenta que la agrupación de los datos no presenta una distribución normal se aplica para el modelo DCA la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis de lo que se obtiene $H = 1.07$ y un $p\text{-valor} = 0.585$ y sabiendo que $p\text{-valor} > 0.05$ se decide aceptar la hipótesis alterna (al menos una mediana de las eficiencias es diferente) y rechazar la hipótesis nula (todas las medianas de las eficiencias son iguales) fundamentando la variación de resultados en las medianas de las eficiencias.

4.3.1.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

Para la remoción de Cromo Trivalente aplicando floculante a base de cáscara de papa se tiene:

Tabla 28

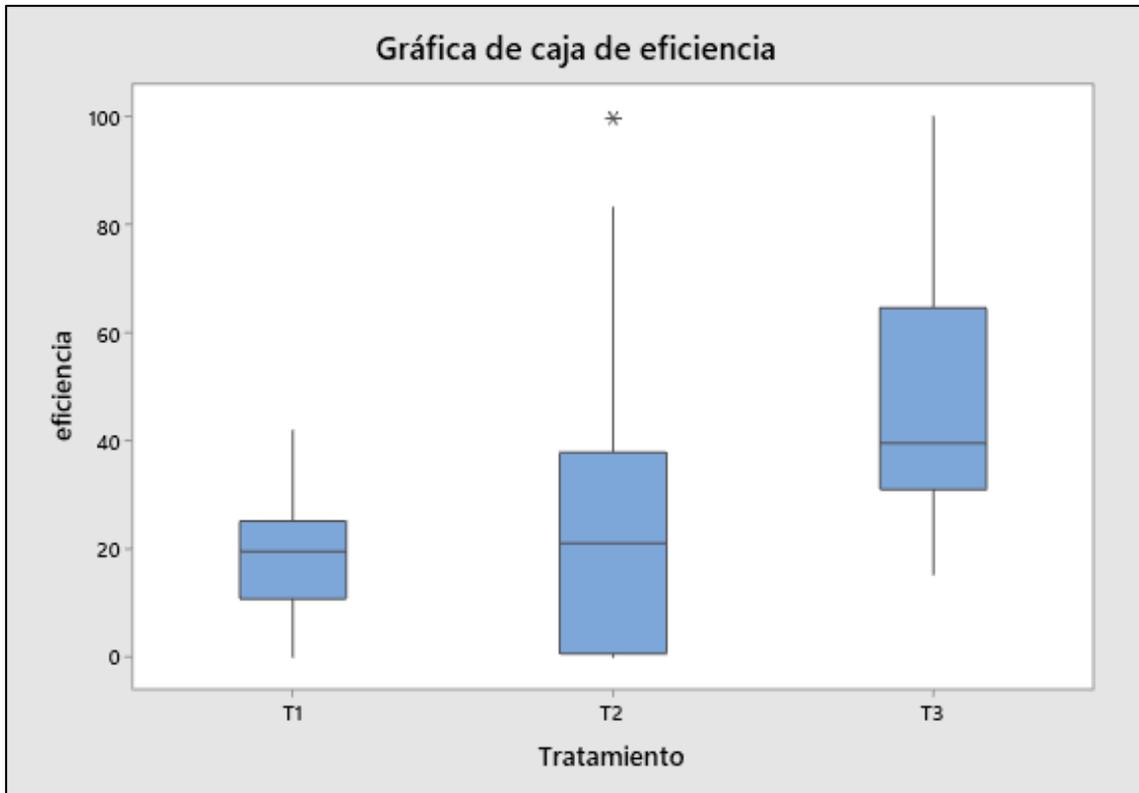
Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos a base de floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T1	15	49.3070	A	
T2	15	29.6365	A	B
T3	15	19.5555	B	

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, elaborado en MINITAB versión 19.

Figura 34

Presentación de Resultados de la Prueba Tukey respecto a la eficiencia de tratamientos aplicados con floculante a base de cáscara de papa.

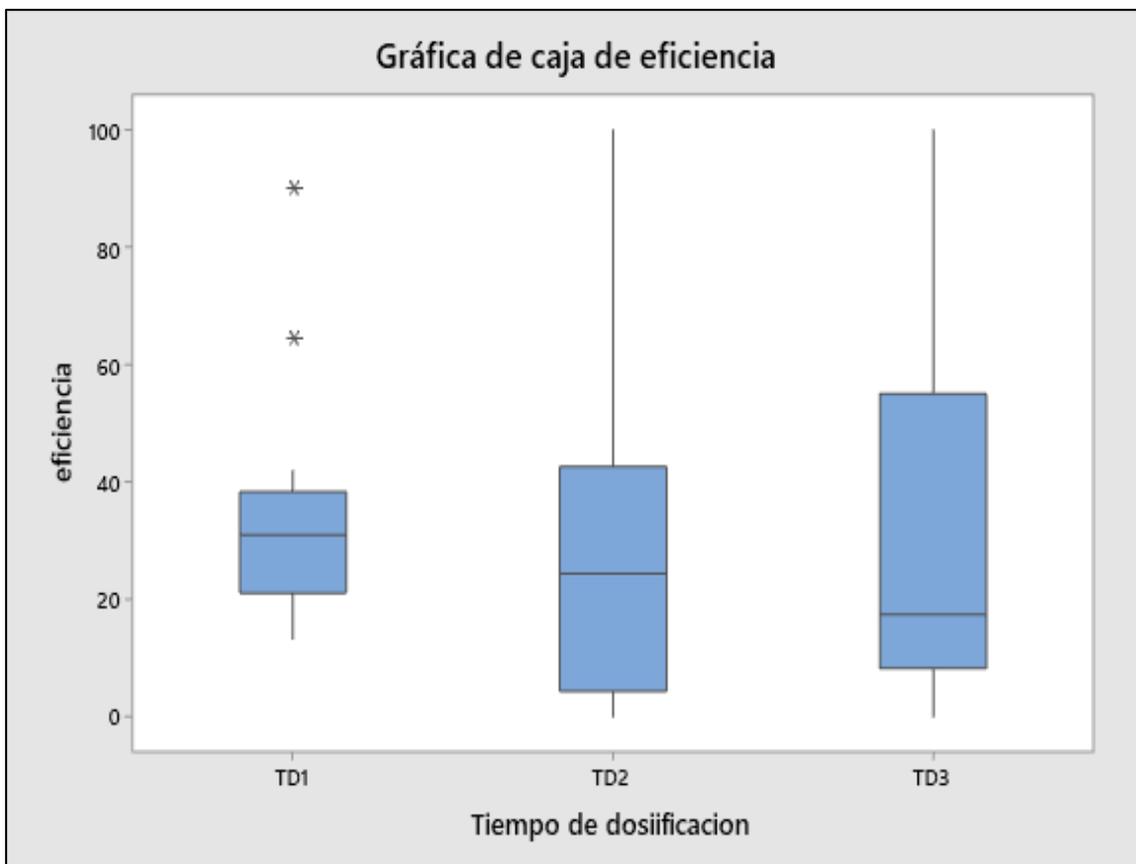


Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que el T3 y T2 presentan mejores eficiencias para remover Cromo Trivalente con floculante a base de cáscara de papa en aguas residuales de curtiembre

Figura 35

Presentación de Resultados de la Prueba Tukey respecto a la eficiencia en los tiempos dosificación aplicados con floculante a base de cáscara de papa.

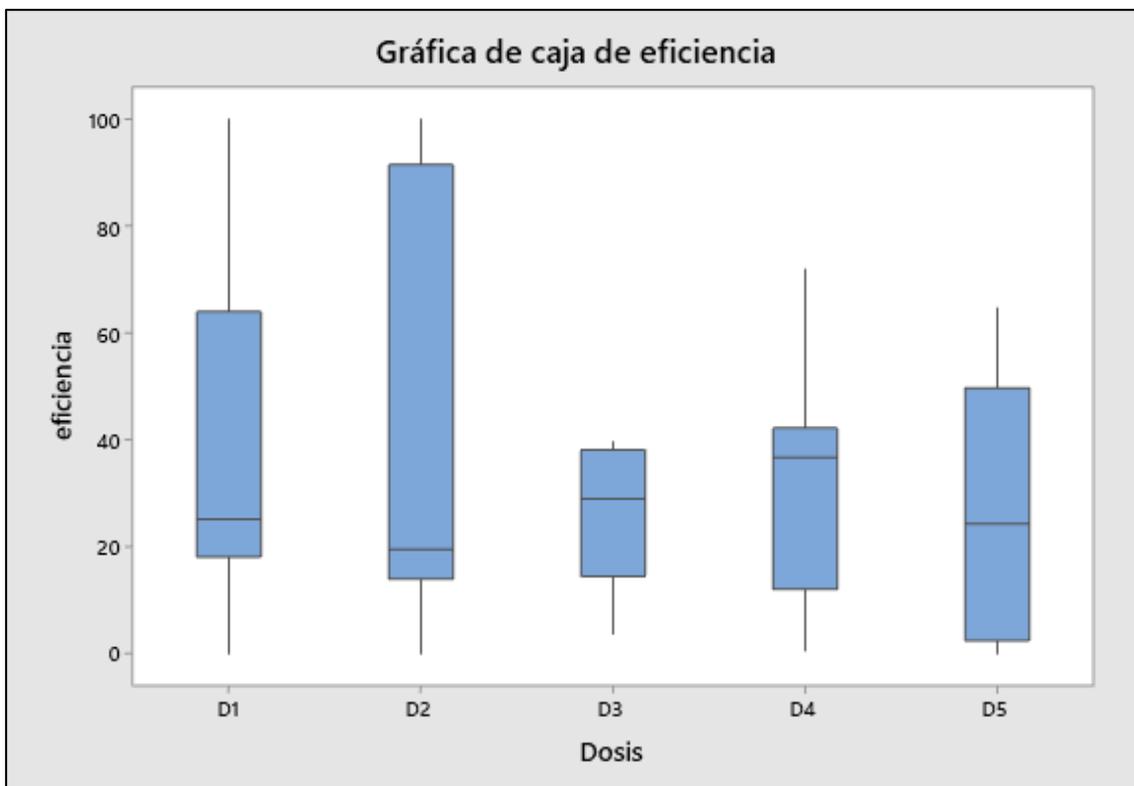


Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que los tiempos de dosificación que presentan mayores eficiencias están entre los 30 y 60 minutos para remover Cromo Trivalente con floculante a base de cáscara de papa en aguas residuales de curtiembre.

Figura 36

Presentación de Resultados de la Prueba Tukey respecto a la eficiencia en las dosis aplicadas con floculante a base de cáscara de papa.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que la dosis más efectiva es la dosis de 1g de floculante a base de cáscara de papa para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.

4.3.2. Eficiencia de la borra de café

Ordenamiento de datos de resultados obtenidos de tratamiento de floculante con borra de café para la remoción de Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre

Tabla 29

Agrupación de Resultados de la aplicación de floculante con borra de café para remover Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre

Tratamiento	Tiempo de dosificación	Dosis	Concentración de Cr III (mg/l)	Eficiencia (%)	Concentraciones iniciales de Cr III (mg/l)
T1	TD1	D1	46.76	17.30	56.54
T1	TD1	D2	54.08	4.35	56.54
T1	TD1	D3	54.76	3.15	56.54
T1	TD1	D4	44.17	21.88	56.54
T1	TD1	D5	56.54	0.00	56.54
T1	TD2	D1	39.17	30.72	56.54
T1	TD2	D2	52.74	6.72	56.54
T1	TD2	D3	56.09	0.80	56.54
T1	TD2	D4	49.85	11.83	56.54
T1	TD2	D5	49.17	13.04	56.54
T1	TD3	D1	56.54	0.00	56.54
T1	TD3	D2	39.27	30.54	56.54
T1	TD3	D3	38.83	31.32	56.54
T1	TD3	D4	41.75	26.16	56.54
T1	TD3	D5	53.31	5.71	56.54
T2	TD1	D1	1.31	75.79	5.41
T2	TD1	D2	2.53	53.23	5.41
T2	TD1	D3	3.54	34.57	5.41
T2	TD1	D4	2.46	54.53	5.41
T2	TD1	D5	0.00	100.00	5.41
T2	TD2	D1	3.68	31.98	5.41
T2	TD2	D2	3.05	43.62	5.41
T2	TD2	D3	1.58	70.79	5.41
T2	TD2	D4	1.75	67.65	5.41
T2	TD2	D5	0.00	100.00	5.41
T2	TD3	D1	0.00	100.00	5.41
T2	TD3	D2	0.00	100.00	5.41
T2	TD3	D3	0.93	82.81	5.41
T2	TD3	D4	2.01	62.85	5.41
T2	TD3	D5	0.00	100.00	5.41
T3	TD1	D1	14.01	18.02	17.09
T3	TD1	D2	12.46	27.09	17.09
T3	TD1	D3	12.90	24.52	17.09
T3	TD1	D4	2.78	83.73	17.09
T3	TD1	D5	11.29	33.94	17.09
T3	TD2	D1	12.73	25.51	17.09
T3	TD2	D2	13.20	22.76	17.09

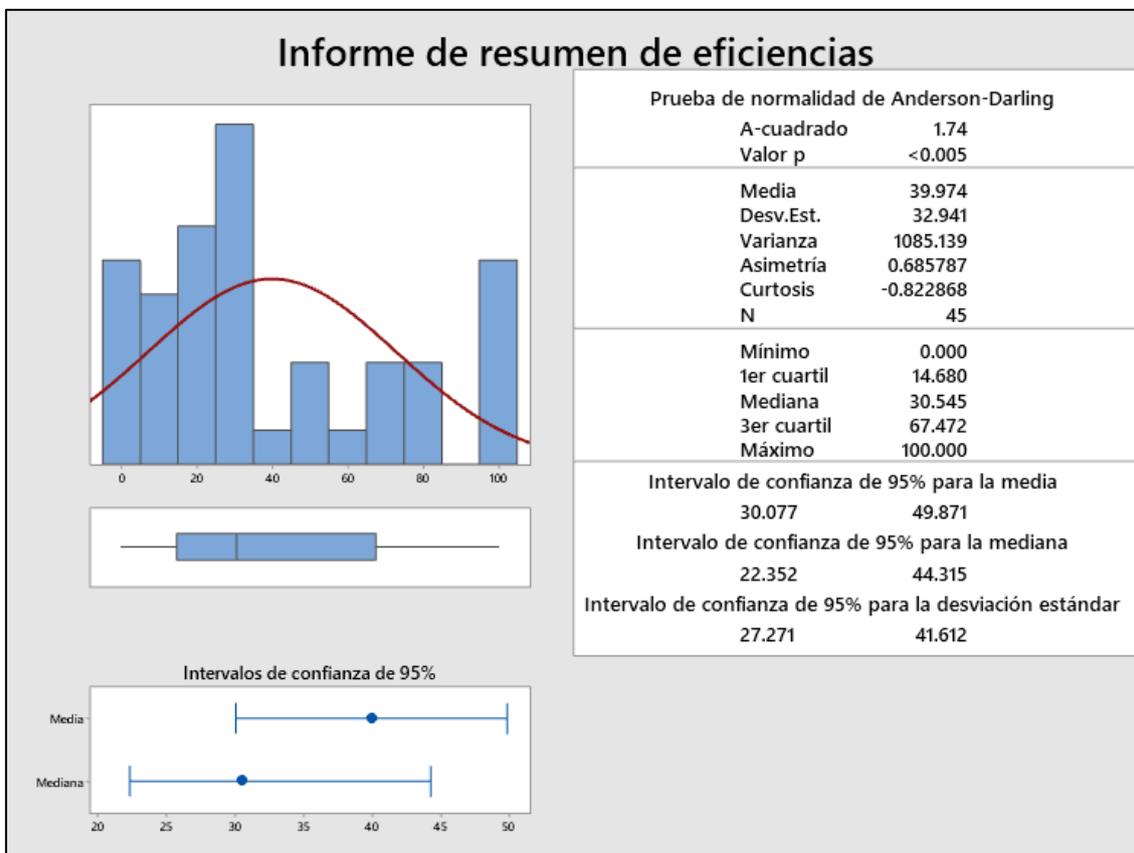
T3	TD2	D3	9.38	45.11	17.09
T3	TD2	D4	16.02	6.26	17.09
T3	TD2	D5	5.59	67.29	17.09
T3	TD3	D1	14.30	16.33	17.09
T3	TD3	D2	12.67	25.86	17.09
T3	TD3	D3	14.10	17.50	17.09
T3	TD3	D4	16.48	3.57	17.09
T3	TD3	D5	0.00	100.00	17.09

Nota. Elaboración propia

De lo cual se observa que las concentraciones iniciales son diferentes no pudiendo agruparlas estadísticamente y procediendo a agrupar los datos de resultado de eficiencia obteniendo los siguientes parámetros estadísticos descriptivos.

Figura 37

Análisis descriptivos de los resultados obtenidos de la aplicación de floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente (III) en aguas residuales de curtiembre.



Nota. Se puede apreciar que la media y la mediana tienden a una inclinación hacia la izquierda presentando una tendencia de movilidad entre media y mediana, podemos verificar que la distribución de los datos es una distribución no normal o asimétrica presentando una desviación estándar muy cercana a la media presentando un error de agrupación en la desviación estándar, pero esto se obtiene por el tipo de proceso realizado para obtener los datos y cuantificar sus resultados. Elaborado en MINITAB versión 19

Para determinar el Diseño Completamente al Azar (DCA) mostrado en la Tabla 29, sobre la aplicación del floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente de aguas residuales de curtiembre se realizan los siguientes pasos:

4.3.2.1. Prueba de la Normalidad

De las eficiencias obtenidas aplicando floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente.

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

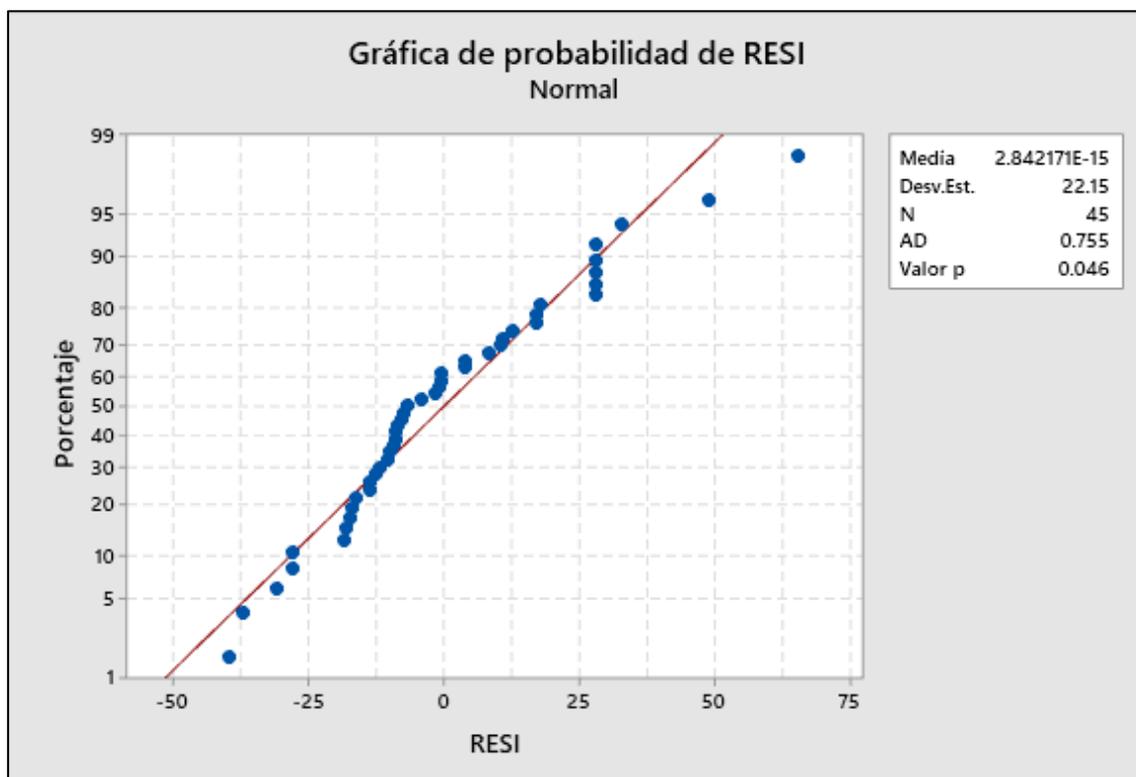
Se aplican los siguientes argumentos:

H₀: Los residuos se distribuyen normalmente

H_a: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 38

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para verificar la distribución de las eficiencias obtenidas de aplicar floculante con borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo calculado se obtiene que el valor $p < 0.05$ como también el indicador (AD= 0.755) por consiguiente se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos no presentan una distribución Normal.

4.3.2.2. Homogeneidad de Varianzas

Se plantea las siguientes premisas:

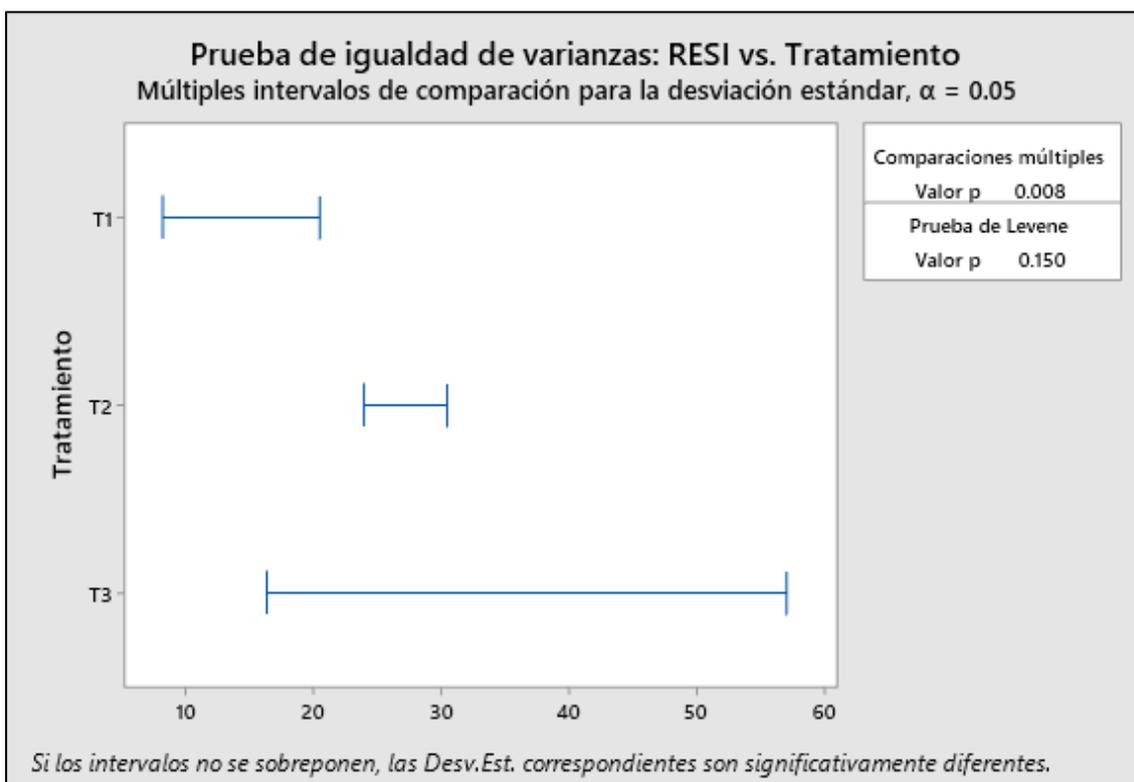
H0: Las varianzas son iguales (homogeneidad de varianzas).

Ha: Al menos una varianza es diferente.

Para las eficiencias obtenidas aplicando la prueba de Levene se tiene:

Figura 39

Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Levene para las eficiencias obtenidas de la aplicación del tratamiento con floculante con borra de café.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

Calculando el índice de Levene = 1.98 y p valor = 0.150 > 0.05, se acepta la hipótesis nula por consiguiente con un 5% de significancia se acepta el supuesto de homogeneidad de varianzas.

4.3.2.3. Prueba hipótesis DCA

Al menos una eficiencia presenta características positivas en la remoción Cromo Trivalente aplicando floculante a base de borra de café en aguas residuales de curtiembre

H₀: Todas las medianas de las eficiencias son iguales

H_a: Al menos una mediana de las eficiencias es diferente

Teniendo en cuenta que la agrupación de los datos no presenta una distribución normal se aplica para el modelo DCA la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis de lo que se obtiene $H = 0.56$ y un p -valor = 0.756 y sabiendo que p -valor > 0.05 se decide aceptarla hipótesis alterna (Al menos una mediana de las eficiencias es diferente) y rechazar la hipótesis nula (Todas las medianas de las eficiencias son iguales) fundamentando la variación de resultados en las medianas de las eficiencias.

4.3.2.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H₀: $\mu_i = \mu_j$

H_a: $\mu_i \neq \mu_j$

Para la remoción de Cromo Trivalente aplicando floculante a base de borra de café se tiene:

Tabla 30

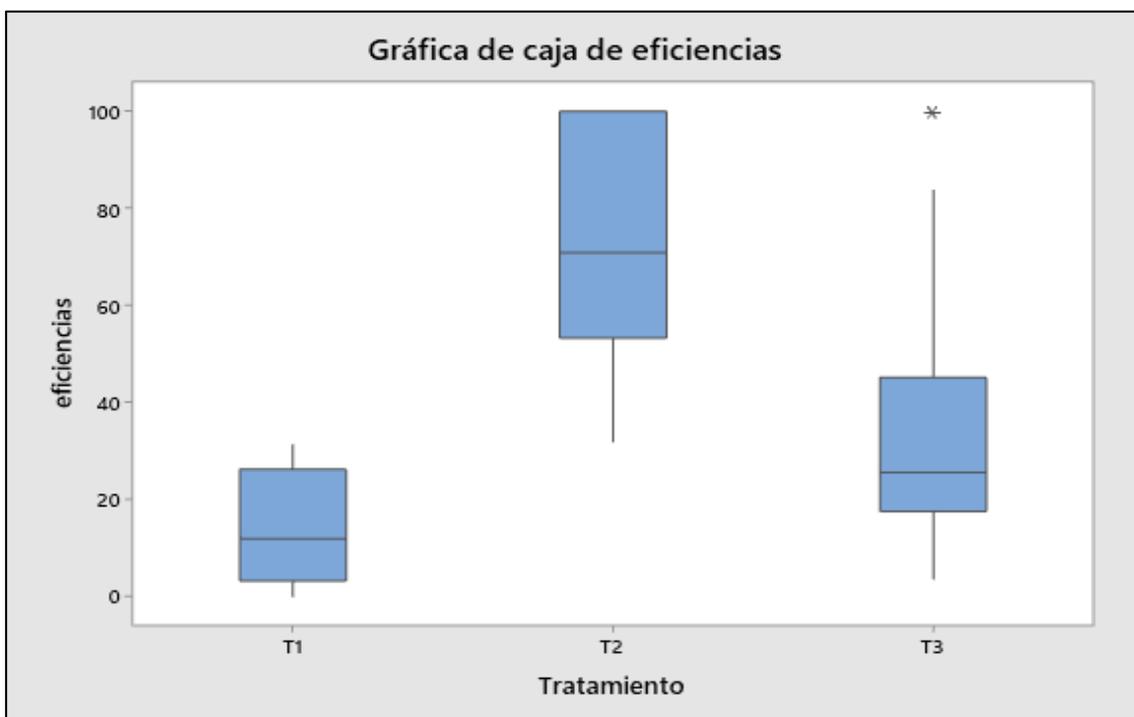
Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos a base de floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T1	15	49.3070	A
T2	15	29.6365	B
T3	15	19.5555	C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, elaborado en MINITAB versión 19.

Figura 40

Presentación de Resultados de la prueba Tukey respecto a la eficiencia de tratamientos aplicados con floculante a base de borra de café.

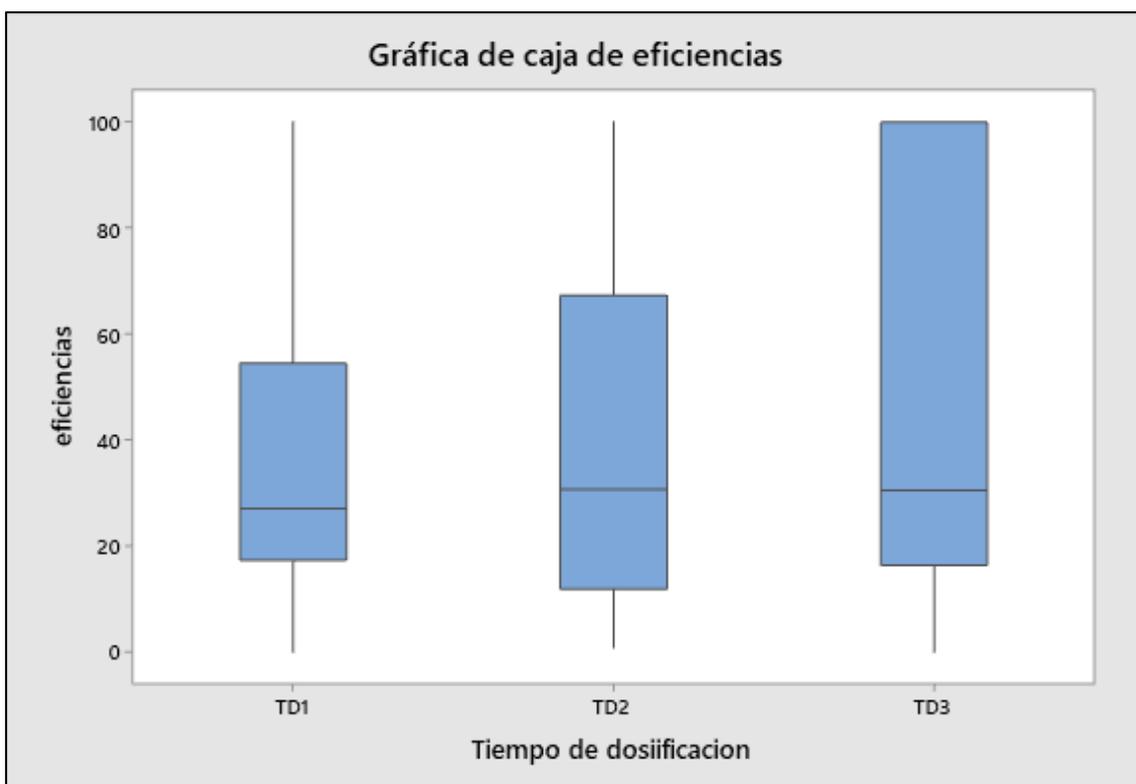


Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que el T3 presentan mejores eficiencias para remover Cromo Trivalente con floculante a base de borra de café en aguas residuales de curtiembre.

Figura 41

Presentación de Resultados de la prueba Tukey respecto a la eficiencia en los tiempos dosificación aplicados con floculante a base de borra de café.

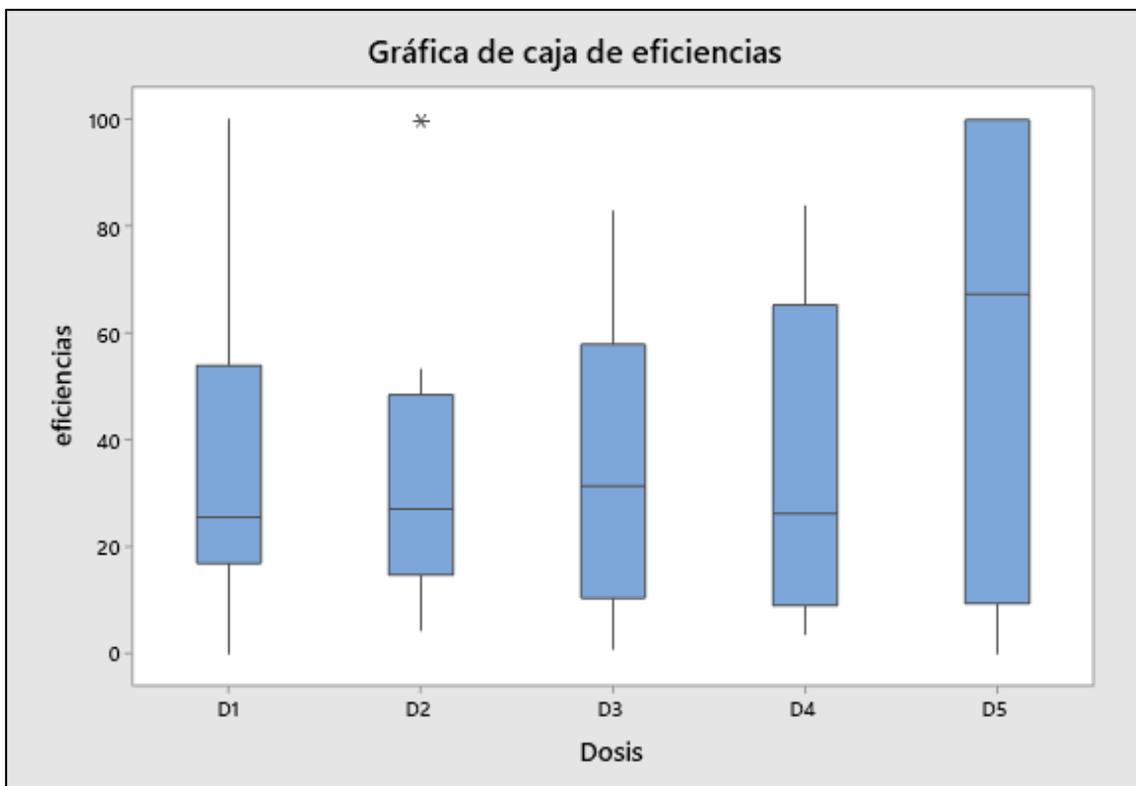


Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende el tiempo de dosificación que presenta mayor eficiencia es el de 60 minutos para remover Cromo Trivalente con floculante a base de borra de café en aguas residuales de curtiembre.

Figura 42

Presentación de Resultados de la prueba Tukey respecto a la eficiencia en las dosis aplicadas con floculante a base de borra de café.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que la dosis más efectiva es la dosis de 2.5g de floculante a base de borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.

4.3.3. Comparación de la eficiencia de la borra de café y cáscara de papa

Tabla 31

Comparación de resultados entre el floculante a base de cáscara de papa y borra de café para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre.

Tratamiento con floculante	Eficiencia de Remoción %	Concentración de Cr +3 mg/l	Tiempo de dosificación	Dosis óptima	Intervalo de Concentraciones iniciales
Cáscara de papa	80.65	10.94	60 min	1.5g	5-17.5 mg/l
Borra de café	77.11	12.94	60 min	2g	5-17.5 mg/l

Nota. Elaboración propia

De lo que se desprende que el floculante con cáscara de papa es más eficiente, pero en concentraciones menores a 20 mg/l para remover Cromo Trivalente en aguas residuales de curtiembre

Tabla 32*Contrastación de Hipótesis de Investigación*

HIPÓTESIS GENERAL	ARGUMENTACIÓN	CONTRASTACIÓN
La borra de café y la cáscara de papa presentan diferentes niveles de eficiencia de remoción del cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre.	Se observa según el análisis realizado que se presentan diferentes niveles de eficiencia en la remoción de cromo (III) incluso presentan valores de 100% de eficiencia, pero son datos atípicos	Verdadera
HIPÓTESIS ESPECIFICAS		
Las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos del agua residual obtenida de la industria curtiembre exceden a LMP.	Se observa que las aguas residuales en sus concentraciones iniciales si exceden los LMP de la industria de curtiembre por lo que es de necesidad tratar estas aguas	Verdadera
La cáscara de papa y borra de café difieren en sus dosis óptimas de ensayo para la remoción del cromo (III) de la muestra de agua residual de la industria curtiembre.	Según los resultados obtenido la cáscara de papa presenta una dosis óptima de 1.5g y la borra de café de 2g para remover Cromo (III) en aguas residuales de curtiembre	Verdadera
La cáscara de papa y borra de café difieren en sus eficiencias porcentuales de remoción del cromo (III) de la muestra de agua residual de la industria curtiembre.	Según lo obtenido en la investigación la eficiencia de la cáscara de papa es de 80.65% en comparación con la de la borra de café que es 77.11% teniendo en cuenta que estas eficiencias se dan en concentraciones menores a 20 mg/l como base inicial	Verdadera

Nota. Elaboración propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Muñiz (2016) de acuerdo a su investigación “Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa” determinó Cr (VI) en una concentración inicial de 1.6 mg/L sin embargo según nuestra investigación realizada no se determinaron niveles de Cr (VI) en los efluentes de curtiembre, cabe precisar que el método utilizado para determinar Cr (VI) en ambas investigaciones fue el método colorimétrico que se basa en la reacción de Cr (VI) con difenilcarbazida en condiciones acidas .

Lagos (2016) en su investigación titulada “Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local” determinó una concentración inicial (C. Inicial) de Cromo Total de 2226 ppm, debido a que el efluente evaluado corresponde a la etapa de curtido por ello la alta concentración de cromo total asimismo el método utilizado para la remoción de cromo por Lagos corresponde al ajuste de pH 6 con hidróxido de sodio y la adsorción con borra de café obteniendo como resultado una remoción de 94.11%, pero cabe precisar que la remoción por ajuste de pH fue de 93.34% y de la borra de café solo el 0.77%. Además, en la investigación realizada por Lagos no se observó la remoción de cromo luego del tratamiento del efluente con borra de café sin ajuste de pH no obstante en nuestra investigación utilizando la borra de café como floculante y un efluente cuya concentración de cromo total es inferior a 60 ppm y cuyo rango de pH que oscila entre 7.6 – 8.4 por lo que no se realiza ajuste de pH se obtiene los siguientes porcentajes de remoción 30.54% (C. Inicial 56.54 ppm) y 100% (C. Inicial 5.41 ppm y 17.09 ppm).

Ramos, José (2017) de acuerdo a su investigación “Bioadsorción con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre en Huachipa”

determinó Cr (VI) en una concentración inicial de 3.96 mg/L y 1.87 mg/L sin embargo según nuestra investigación realizada no se determinaron niveles de Cr (VI) en los efluentes de curtiembre, cabe precisar que el método utilizado para determinar Cr (VI) en ambas investigaciones fue el método colorimétrico.

Paz (2020) en su investigación titulada “Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembre, empleando vainas de arvejas *Pisum Sativum* L. para obtener agua categoría 3 D2 D.S. 004-2017 MINAM en Arequipa 2018” determinó una concentración inicial (C. Inicial) de Cromo Total de 1040 ppm, cabe precisar que registra una alta concentración de cromo total debido a que corresponde a efluente de la etapa de curtido. Asimismo, el método utilizado para la remoción de cromo por Paz corresponde al ajuste de pH a 1.08 y la adsorción con vainas de arveja obteniendo como resultado una remoción de 99.91 %, pero cabe precisar que la remoción por ajuste de pH fue de 99.76% y de las vainas de arveja solo el 0.15%, es decir se logró remover de 2.45 a 0.93 ppm no obstante en nuestra investigación utilizando la borra de café y la cáscara de papa como floculantes y un efluente cuya concentración de cromo total inferior a 60 ppm y cuyo rango de pH que oscila entre 7.6 – 8.4 por lo que no se realiza ajuste de pH de la muestra de agua residual se obtiene los siguientes porcentajes de remoción para la borra de café 30.54% (C. Inicial 56.54 ppm) y 100% (C. Inicial 5.41 ppm y 17.09 ppm) y la cáscara de papa .41.96% (C. Inicial 56.54 ppm) y 100% (C. Inicial 5.41 ppm y 17.09 ppm).

Ordoñez (2017) en su investigación “Determinación de la capacidad absorbente de los residuos de la papa (*Solanum tuberosum*) para remoción de metales pesados en aguas contaminados” la dosis óptima de 0.1g para la remoción de cromo en muestras de agua sintética cuya concentración inicial es 100 mg/L y pH 4 lográndose reducir a 48.95 mg/L obteniendo una eficiencia de 51.05%, cabe precisar que el tiempo de absorción fue de 120 minutos y el volumen de 50 ml, sin embargo en nuestra investigación se obtuvo los siguientes resultados de eficiencia de remoción de cromo utilizando como floculante la cáscara de papa de 41.96% de eficiencia cuando la C. Inicial de cromo del efluente es 56.54 ppm con una dosis óptima de 2 g y tiempo de 15 minutos y una eficiencia de remoción de cromo de 100% cuando la C. Inicial en el efluente es de 5.41 y 17.09 ppm considerando como dosis óptima 0.5 y 1g respectivamente y tiempo de 30 minutos para ambos, cabe precisar que nuestro método fue el test de jarra, la velocidad de agitación de 100 RPM y el volumen de muestra fue de 500 ml.

Delgado (2021) en su investigación realizada “Evaluación del efecto del quitosano sobre las concentraciones de cromo y los parámetros fisicoquímicos en efluentes de curtiembre” caracterizó el efluente del curtido de la curtiembre el cual tuvo 46.59 mg/L de cromo VI, 1055.57 mg/L de cromo III y un pH de 5.17 al cual realizó el tratamiento utilizando la prueba de jarras y el quitosano extraído (0.1%) en un volumen de 150 ml obteniendo como resultado la remoción de Cr^{+6} de 46.59 mg/L a 25.18 mg/L lo que representa un porcentaje de adsorción de 46%, mientras que para el Cr^{+3} los valores fueron de 1055.57 mg/L a 511.67 mg/L siendo su porcentaje de remoción de 52%, sin embargo en nuestra investigación se tiene un efluente cuya concentración de cromo total es inferior a 60 ppm y cuyo rango de pH que oscila entre 7.6 – 8.4 se obtiene los siguientes porcentajes de remoción utilizando la borra de café de 30.54% (C. Inicial 56.54 ppm) y 100% (C. Inicial 5.41 ppm y 17.09 ppm) y la cáscara de papa .41.96% (C. Inicial 56.54

ppm) y 100% (C. Inicial 5.41 ppm y 17.09 ppm), pero cabe precisar que en mi trabajo de investigación no se registró cromo hexavalente en el efluente y que las dosis óptimas de floculantes determinadas son superiores a lo indicado por Delgado (2020).

VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el primer objetivo los resultados en la caracterización del efluente de la industria curtiembre fueron temperatura (25.5 °C), potencial de hidrogeno (8.4) y cromo hexavalente (0 mg/L) cumplen los LMP de efluentes para alcantarillado, sin embargo, los parámetros sólidos suspendidos totales (860 mg/L), aceites y grasas (251.4 mg/L), DQO (2178.67 mg O₂ /L) y cromo total (56.54 mg/L) exceden a los LMP. Cabe precisar que en el 2do y 3er muestreo del efluente de la industria curtiembre, el parámetro cromo total tiene concentraciones de 5.41 mg/L y 17.09 mg/L respectivamente por lo cual exceden a los LMP.
- Con relación al segundo objetivo, para el Tratamiento 1 cuya concentración inicial de cromo total fue de 56.54 mg/L no se logró una dosis óptima para los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café que permitan alcanzar el LMP, sin embargo, para el Tratamiento 2 cuya concentración inicial de cromo fue de 5.41 mg/L se obtuvo como dosis óptima de borra de café a 0.5 g con un tiempo de agitación de 60 min y como dosis óptima de cáscara de papa a 0.5g con un tiempo de agitación de 30 min y para el Tratamiento 3 cuya concentración inicial de cromo fue de 17.09 mg/L se obtuvo como dosis óptima de borra de café a 2.5 g con un tiempo de agitación de 60 min y como dosis óptima de cáscara de papa a 1g con un tiempo de agitación de 30 min. Cabe precisar que con las dosis mencionadas se logra cumplir el LMP y la remoción total del cromo.
- Con relación al tercer objetivo, para el Tratamiento 1 cuya concentración inicial de cromo total fue de 56.54 mg/L se determinó que la mayor eficiencia de remoción de cromo se logró con el floculante natural de cáscara de papa con una eficiencia de 41.96% sin embargo ello no permite alcanzar el LMP, para el Tratamiento 2 (Cromo inicial registrado = 5.41 mg/L) y el Tratamiento 3 (Cromo inicial registrado = 17.09

mg/L) se obtuvo una eficiencia de remoción de cromo de 100% utilizando como floculantes naturales la cáscara de papa y borra de café lo que permite cumplir el LMP.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la aplicación de la presente metodología a escala industrial considerando el ensayo realizado a nivel de laboratorio.
- Se recomienda la aplicación de los floculantes naturales elaborados a partir de cáscara de papa y borra de café en la remoción de otros metales.
- Se recomienda la aplicación de la presente metodología para la remoción de cromo III, con concentraciones menores a 17.1 mg/l.
- Se recomienda modificar las variables operacionales (tiempo, velocidad de agitación, volumen y dosis de floculante), a fin de conocer cambios en la eficiencia de los floculantes naturales cáscara de papa y borra de café para la remoción de cromo III.
- Se recomienda tratar efluentes de la industria de curtiembre cuyas concentraciones de cromo total se encuentren entre 17.1 y 56.4 mg/L usando floculantes naturales elaborados a partir de cáscara de papa y borra de café, de modo que se pueda conocer el máximo nivel de remoción de cromo III por los floculantes en mención.
- Se recomienda el uso de floculantes naturales elaborados a partir de residuos orgánicos, por no generar costos de adquisición y darle un valor agregado a los residuos, asimismo permitirá comparar su eficiencia en relación a los floculantes de cáscara de papa y borra de café en la remoción de cromo III.

VIII. REFERENCIAS

- Acosta, H., Barraza, C., & Albis, A. (2017). Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *Ingeniería y desarrollo*, 35(1), 58-76.
- APHA-AWWA-WPCF (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos, SA.
- Arcila, H., & Peralta, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas (Cajicá)*, 11(2), 136-153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Balbin, R. (2015). Determinar la eficiencia de los polielectrolitos (Superfloc N-300 y Superfloc C-581) para el mejoramiento de parámetros químicos en los efluentes industriales de una empresa de mantenimiento de maquinaria pesada-Cercado de Lima, 2015. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/17472>
- Carmona, L. (2012). Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la Planta "La Diana". *Publicaciones e Investigación (Duitama)*, 6, 115-121. <https://doi.org/10.22490/issn.2539-4088>
- Chávez, Á. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41-49.
- Córdova, H., Vargas, R., Cesare, M., Flores, L., & Visitación, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplexantes de cromo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 183-191.

- Dávila T., Sanchez N., Ordoñez D., Muñoz J., & Benitez R. (2017). Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de $Cr(VI)$ en efluentes de curtiembres sintéticos. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial (Cauca)*, 15(spe), 49-58. <https://doi.org/10.15649/2346030X.627>
- Fernandez, M., Florez, D., Yactayo, M., Lovera, D., Quispe, J., Landauro, C., & Pardave, W. (2020). Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas. *Aibi Revista De investigación, administración E ingeniería (Cúcuta)*, 8(1), 21-28. <https://doi.org/10.15649/2346030X.627>
- García, M. (2007). Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas sp* y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*. *Revista Médica Vallejana (La Libertad)*, 4(1), 32-42. <https://doi.org/10.18050/revistamedicavallejana.v4i1.2218>
- Gunsé, B. (2008). Efectos del cromo sobre la nutrición y relaciones hídricas de *Phaseolus vulgaris*. *Universitat Autònoma de Barcelona*.
- Huamaní Taipe, G. (2014). La industria de la curtiembre y su incidencia en el medio de la Ciudad de Lima-2012. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional UNAC. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1613>
- Ibarra, D. (2020). Análisis integral y optimización de un proceso de floculación-coagulación empleando pectina de nopal para el tratamiento de aguas contaminadas con metales de la industria de la galvanoplastia. [Tesis de doctorado, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica]. Repositorio Institucional CIDETEQ. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/453>

- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2012). Papa INIA 303 - Canchán. [Archivo PDF]. Ministerio de Agricultura, Lima. Obtenido de http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/518/1/Trip-Papa_Canchan_INIA303.pdf
- Junta Nacional del Café (24 de agosto 2022). Consumo per cápita de café en Perú alcanza los 1.4 kilos y la meta al 2030 es llegar a los 2 kilos por persona al año. <https://juntadelcafe.org.pe/consumo-per-capita-de-cafe-en-peru-alcanza-los-1-4-kilos-y-la-meta-al-2030-es-llegar-a-los-2-kilos-por-persona-al-ano/>
- Lagos, L. (2016). Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6727>
- Magallán, L. (2018). Evaluación del rendimiento de semilla prebásica de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en el sistema aeropónico, Distrito de Luya Viejo-Región Amazonas. Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable (Amazonas), 2 (3), 61-68. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20183.405>
- Miller, S., Gagnet, A., & Worden, R. (1999). Reporte Técnico para la Industria de Curtiembres en el Perú. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/conam/conam.pdf>.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (21 de mayo 2021). Producción de papa este año cerraría alrededor de los 5.4 millones de toneladas sumando más de S/ 3,240 millones. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/494292-produccion-de-papa-este-ano-cerraria-alrededor-de-los-5-4-millones-de-toneladas-sumando-mas-de-s-3-240-millones>

- Montoya, N., Casas, P., & Wandurraga, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y tecnología para la salud visual y ocular*, 8(1), 77-88.
- Muñiz, J. (2016). Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa-2016. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/4668>
- Ordóñez, A. (2017). Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la industria de la papa (*Solanum tuberosum*) para remoción de metales pesados en aguas contaminadas (Bachelor's thesis). [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14969>
- Pabón, J., & Rosas, W. (2016). Determinación de la eficiencia de adsorción de la cáscara de café y cáscara de papa en la remoción de Cr (VI) presente en aguas residuales provenientes de una curtiembre de Pandiaco. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18067>
- Paz, O. (2020). Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembres, empleando vainas de arvejas *Pisum Sativum* L. para obtener agua categoría 3 D 2 DS 004-2017 MINAM. en Arequipa 2018. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e6be0ef2-bed7-412c-8e51-e6369e53c351/content>

- Ramos, J. (2017). Bioadsorción con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre en Huachipa, 2017. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18933>
- Rey de Castro, A. (2013). Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para el control ambiental y optimización del proceso productivo. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5123>
- Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar, química, fisicoquímica, bacteriología, biología (No. 543.3 R6Y).
- Roig, B. (2006). Evaluación de las tecnologías de tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con Cromo.
- Sampieri, R.; Fernandez, C.; Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Interamericana Editores, S.A.
- Sierra y Selva Exportadora. (2020). Análisis de Mercado. [Archivo PDF]. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1471847/An%C3%A1lisis%20de%20Mercado%20-%20Papa%202020.pdf>

IX. ANEXOS

9.1. Anexo 1: Matriz de Consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Tipo	Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Variable	Indicadores	Instrumento
General	¿Cuál es la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre?	Evaluar la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculantes para remover el cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre.	La borra de café y la cáscara de papa presentan diferentes niveles de eficiencia de remoción del cromo (III) del agua residual de la industria curtiembre.	Independiente	Floculantes naturales	Floculación: Es el proceso en el cual se busca la formación de flóculos (aglomeración de coloides) mediante la atracción de las partículas con el floculante (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez, & Sandoval, 2015). Floculantes Naturales: son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión García (2007, como se citó en Arcila y Peralta, 2015)	Se utilizó el método de jarras considerando un volumen contante de 0.5 litros, velocidad de agitación de 250 rpm (borra de café) y 100 rpm (cáscara de papa), tiempos de 15, 30 y 60 min y dosis de coagulante de 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 gramos.	Cáscara de papa	Dosis	mg/L	
									Tiempo	minutos	
									Velocidad de agitación	RPM	
								Borra de café	Eficiencia	%	
									Dosis	mg/L	
									Tiempo	minutos	
Velocidad de agitación	RPM										
Eficiencia	%										
Específicos	¿Cuáles son las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua residual obtenida de la industria curtiembre?	Caracterizar física y químicamente el agua residual de la industria curtiembre.	Las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos del agua residual obtenida de la industria curtiembre exceden a LMP.	Dependiente	Aguas residuales	-	Se consideró 3 muestras de efluente: - 1era Muestra: concentración de cromo total de 56.54 mg/L, pH de 8.4 y temperatura de 25.5. - 2da Muestra: concentración de cromo total de 5,41 mg/L, pH de 7.6 y temperatura de 21.3. - 3ra Muestra: concentración de cromo total de 17,09 mg/L, pH de 7.8 y temperatura de 24.3	Parámetros físico químicos	pH	Unidades de pH	Ficha de observación
	¿Cuál es la dosis óptima de los floculantes naturales de cáscara de papa y la borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre?	Determinar la dosis óptima de los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre.	La cáscara de papa y borra de café difieren en sus dosis óptimas de ensayo para la remoción del cromo (III) de la muestra de agua residual de la industria curtiembre.						Temperatura	°C	
	¿Cuál es la eficiencia individual y porcentual de los floculantes naturales de cáscara de papa y la borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre?	Determinar la eficiencia individual y porcentual de los floculantes naturales de cáscara de papa y borra de café para la remoción de cromo (III) del agua residual obtenida de la industria curtiembre.	La cáscara de papa y borra de café difieren en sus eficiencias porcentuales de remoción del cromo (III) de la muestra de agua residual de la industria curtiembre.						Cromo	Concentración Inicial	
									Concentración Final	mg/L	

9.2. Anexo 2: Panel Fotográfico



	
<p>Secado de la borra de café para la elaboración del floculante natural</p>	<p>Toma de muestra de agua residual de la industria curtiembre y medición de parámetros de campo.</p>
	
<p>Caracterización del efluente curtiembre (Fotografía de la izquierda determinación de sólidos totales en suspensión y el de la derecha determinación de aceites y grasas)</p>	<p>Pesado de las dosis de los floculantes naturales (Fotografía de la izquierda corresponde a la cáscara de papa y el de la derecha borra de café)</p>



Agregado de muestra de efluente curtiembre a las jarras del floculador programable.



Agregado de las dosis del floculante natural a las jarras del floculador programable (Fotografía de la derecha) y ajuste del agitador magnético (Fotografía de la izquierda)



Recojo de la muestra tratada de las jarras del floculador programable



Proceso de digestión de las muestras tratadas para su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica



Tratamientos listos para su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica



Medición de la concentración del cromo en el espectrofotómetro de absorción atómica.